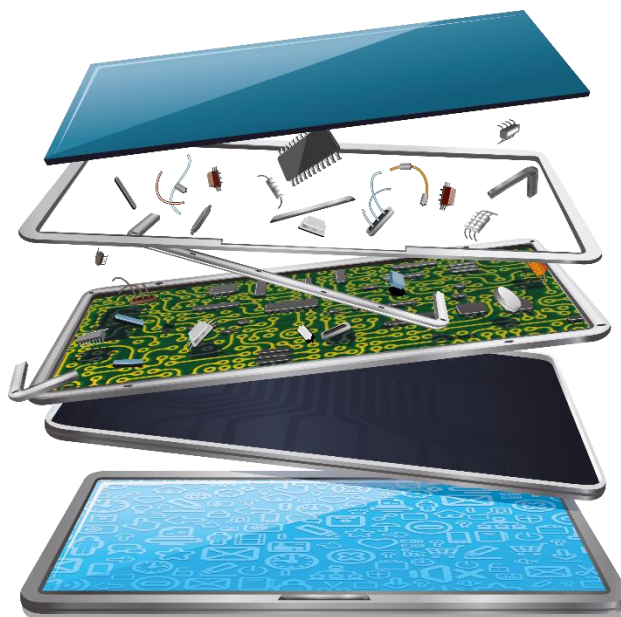


Materiais para Tablets

Claes Fredriksson e Luca Petruccelli

Granta Design, 300 Rustat House, 62 Clifton Rd, Cambridge, CB1 7EG, UK

Publicado em Dezembro 2017
© 2017 Granta Design Limited



Conteúdo

Conteúdo	1
Resumo.....	1
1. Qual é o Escopo?	2
2.O Que Você Pode Fazer com o CES EduPack?	3
3.Usando o CES EduPack para Comparar e Padronizar Materiais	3
4.Usando o CES EduPack para Investigar Materiais e Elementos Críticos	5
5.Auditorias Ecológicas (Eco Audits) e Investigação de Materiais Críticos para Tablets Leves	7
6.Análise e Verificação da Realidade	9
7.O Que o CES EduPack nos Ajuda a Compreender?	10
Referências.....	11

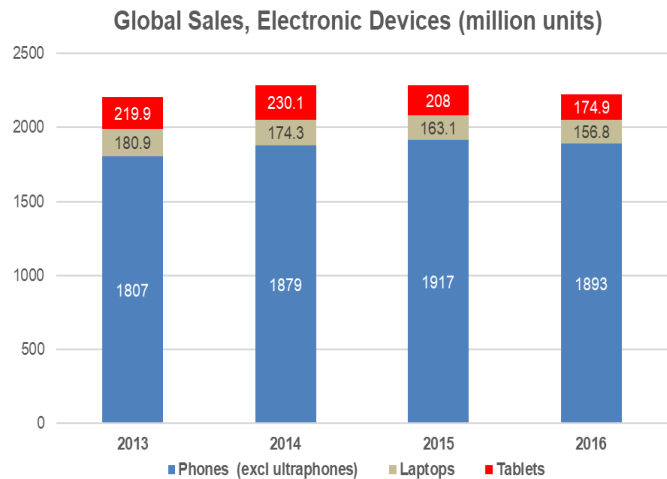
Resumo

O CES EduPack provê, não somente, uma abordagem sistemática e racional para a seleção de materiais, mas também possui dados ecológicos e de sustentabilidade úteis e ferramentas para engenharia verde e projeto ecológico. Estes dados serão essenciais para propósitos de ensino e treinamento dos profissionais do futuro. As bases de dados disponíveis serviram de fundamento para decisões relacionadas a materiais em

muitas áreas especializadas. Nesse estudo de caso avançado, nós focaremos nas tomadas de decisão para materiais para tablets, de maneira a explorar os seus desempenhos.

1. Qual é o Escopo?

Equipamentos eletrônicos de consumo tem um enorme impacto na economia global, no meio-ambiente e no cotidiano das pessoas. Aproximadamente 2 bilhões de celulares são vendidos anualmente [1] e equipamentos como laptops ou tablets vendem centenas de milhões por ano, cada um. Embora existam sinais de que o crescimento está diminuindo, o impacto dos produtos destes tipos existentes e futuros é enorme. Existem questões importantes como a sustentabilidade dos materiais usados nesses equipamentos eletrônicos, tais como, a reciclabilidade, o uso da energia, materiais nocivos, críticos ou de uso restrito e questões de escassez de recursos.



Como os telefones celulares (telemóveis) se tornaram maiores com o avanço da tecnologia da tela e com o crescimento das demandas ligadas a isso, por exemplo, jogos e filmes, a integridade mecânica do chassis ganhou importância. De fato, alguns modelos tiveram problemas com resistência a flexão (dobramento) e rigidez. Telas sensíveis ao toque em smartphones e tablets também precisam resistir a riscos quando são usados e transportados. Enquanto as placas de circuito no interior dos equipamentos geralmente têm tenacidade a fratura e resistência suficiente, as propriedades mecânicas da tampa traseira do celular e das telas de vidro são mais críticas e conseqüentemente precisam de maior atenção.

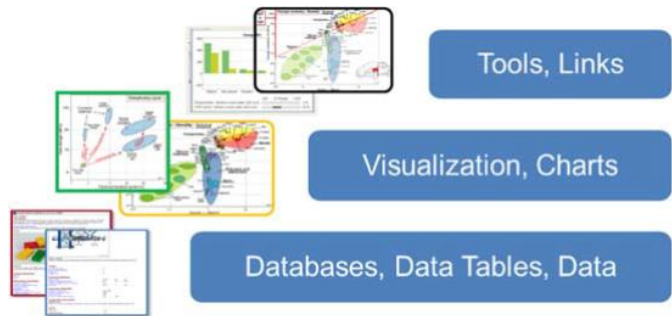
Adicionalmente, existe um número de materiais nocivos, restritos e críticos em eletrônicos de consumo que deveriam ser investigados. Desde retardantes de chamas nas carcaças de polímeros e chumbo nas soldas, até lítio nas baterias recarregáveis dos equipamentos. Estes afetarão a reciclabilidade dos componentes e também estarão sujeitos a legislação e regulamentação pelos EUA e a União Europeia, por exemplo. Esses aspectos são importantes no contexto da sustentabilidade e da economia circular; em particular, para futuros engenheiros e projetistas.

Estudos anteriores encontraram uma relação aproximadamente linear entre massa e emissões incorporadas para estes tipos de produto [2]. Entretanto, um modelo linear mais sofisticado incluindo as massas da tela, bateria, placa de circuito, etc., é um pouco mais preciso. Um projeto aprimorado e o uso reduzido de material já resultou em até 50 - 60% menos emissões de gases de efeito estufa incorporados para produtos mais novos do que em produtos mais velhos com funcionalidade similar, especialmente no conteúdo dos circuitos integrados. Neste artigo adaptamos/simplificamos a estrutura de produtos (*Bill of Materials* ou BOMs) para alguns tablets genéricos. O principal propósito é comparar cenários para decisões de materiais e mostrar as possibilidades do software, ao invés de prover valores absolutos precisos. Os números são, entretanto, realísticos.

2. O Que Você Pode Fazer com o CES EduPack?

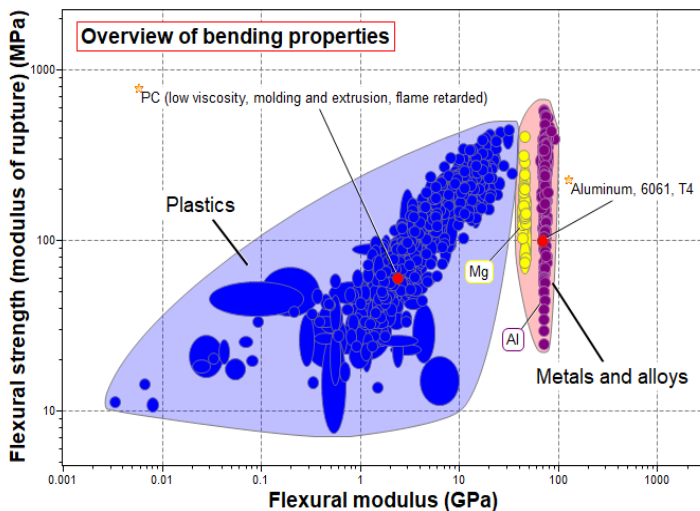
O CES EduPack possibilita uma abordagem sistemática e completa para a seleção de materiais. Ele é baseado no trabalho de professor Mike Ashby [3] e co-autores. Os dados e ferramentas que vêm com o software permitem diminuição de peso e outros aprimoramentos para o desempenho mecânico. Ele também é útil para comparar as opções (*benchmarking*), por exemplo quando se realiza a reengenharia de produtos. A comparação pode ser feita visualmente, usando mapas de propriedades (mapas de Ashby), que são preparados rapidamente com ferramentas de plotagem gráficas.

As bases de dados avançadas do nível 3 provêm dados comparáveis de milhares de materiais. Aqui, nós usaremos a base de dados *Sustainability*, que contém a ferramenta aprimorada de Auditoria Ecológica (*Eco Audit Tool*) para a avaliação do desempenho do ciclo de vida, assim como acesso fácil a dados críticos e de escassez de recursos dos elementos, com links diretos para essa tabela de dados. Existem também tabelas de dados sobre armazenamento de energia assim como regulamentação e legislação que são úteis para o tipo de estudo que estamos conduzindo aqui.



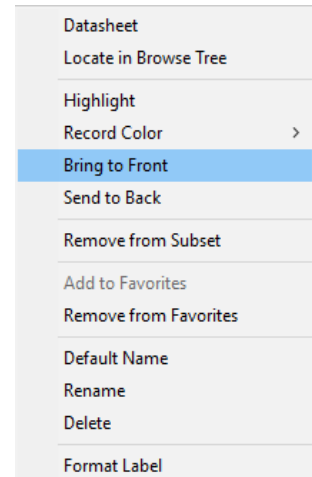
A hierarquia das características usadas neste estudo de caso para tablets

3. Usando o CES EduPack para Comparar e Padronizar Materiais



Começando com as propriedades mecânicas, nós rapidamente identificamos que para um tablet, o caso de carregamento relevante para a integridade estrutural será o *painel sob flexão*. O CES EduPack pode ser usado para comparar e padronizar diferentes opções de materiais visualmente em um mapa de propriedades. Para a tampa traseira do celular, duas alternativas de projeto realísticas e relevantes podem ser usadas como um exemplo ilustrativo [2]: o policarbonato (PC), tipicamente usado para tablets de baixo custo direcionados para leitura que têm que ser leves para competir com livros, e o alumínio (Al), que é mais durável, resiliente, e ainda relativamente leve.

Um gráfico apresentando uma visão geral, incluindo estes 2 principais candidatos, é mostrado no mapa acima. A rigidez à flexão é importante de maneira a proteger a tela LCD e a placa de circuito no interior do tablet, e a resistência à flexão é necessária para evitar a deformação plástica. O policarbonato é representado pelos tipos Sem carga (*Unfilled*), baixa viscosidade (*low viscosity*), conformação (*molding and extrusion*), retardante de chamas (*flame retarded*) enquanto o alumínio é representado pela liga Al 6061 no universo de materiais (*MaterialUniverse*) do CES EduPack, o qual é realístico [4]. No mapa, os termoplásticos e as ligas de metal leve Al e Mg são incluídas para comparação usando a ferramenta de subconjunto customizado (*custom subset*). Clicando com o botão direito nos nomes dos materiais, os candidatos podem ser nomeados no gráfico, selecionados como favoritos, suas bolhas trazidas para frente e suas cores podem ser trocadas para vermelho para uma melhor visibilidade. Os mapas mostram que estes candidatos apresentam resistência e rigidez intermediárias. O Al parece ser mais forte e rígido que o policarbonato. Entretanto, esta não é a única maneira de comparar materiais para a tampa traseira leve de um tablet. Neste caso, os candidatos teriam densidades distintas e portanto espessuras diferentes para esta aplicação.



Embora um simples mapa de Ashby com resistência à flexão em um eixo e módulo de flexão no outro dará uma visão geral das propriedades dos materiais, a comparação precisa ser feita em relação ao índice de desempenho de uma aplicação específica. Para um painel em flexão, com o objetivo de minimizar massa, índices serão combinações de propriedades, limitados pela resistência e rigidez, respectivamente. Os índices de desempenho tanto para o projeto limitado por resistência quanto para o projeto limitado por rigidez de um painel em flexão são mostrados abaixo.

Se dois objetivos são mostrados juntos no mesmo mapa, é habitual plotar os índices para minimização nos eixos. As expressões para os índices de desempenho (ou índices de mérito) podem ser encontradas via a função Ajuda (*Help*) no menu. Elas são inseridas no estágio (*Stage*) do Mapa (*Graph/Select*) usando o botão avançado (*Advanced*), para que o editor de equações apareça. Nós usamos:

$$\rho / \sigma_f^{1/2}$$

para o eixo Y (resistência a flexão) e:

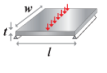
$$\rho / E_f^{1/3}$$

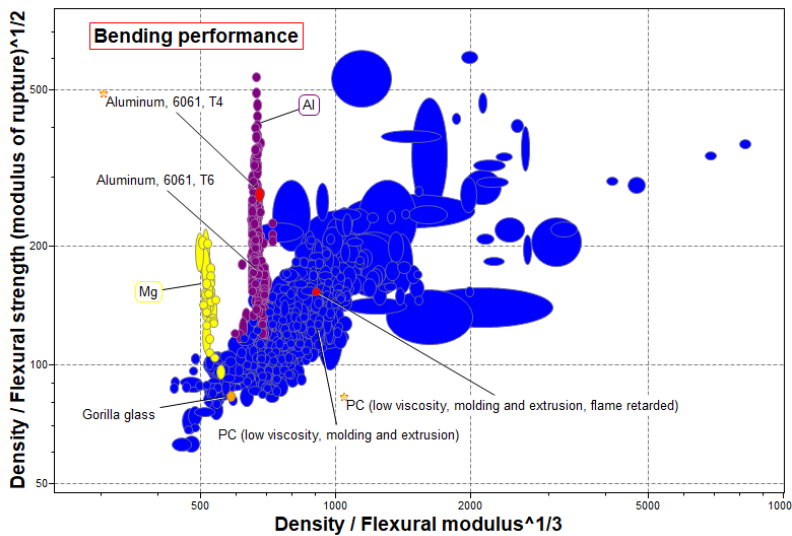
para o eixo X (módulo de flexão).

Stiffness-limited design at minimum mass

FUNCTION AND CONSTRAINTS ¹		MAXIMIZE ²	MINIMIZE ²
Panel in bending		length, width fixed; thickness free	$E_f^{1/3} / \rho$ $\rho / E_f^{1/3}$

Strength-limited design at minimum mass

FUNCTION AND CONSTRAINTS ^{1,3}		MAXIMIZE ²	MINIMIZE ²
Panel in bending		length, width fixed; thickness free	$\sigma_f^{1/2} / \rho$ $\rho / \sigma_f^{1/2}$



Neste mapa, a situação atual é mais clara. Como estamos minimizando os dois índices, os “melhores” materiais são aqueles mais próximos do canto inferior esquerdo. O Al tem melhor desempenho em rigidez, mas o PC é melhor em resistência. A situação representa assim uma decisão que envolve um dilema (*trade-off*). Como estamos comparando materiais já em uso, sabemos que as duas opções são “boas o suficiente”, em algum sentido. Se as propriedades precisam ser aprimoradas, melhores alternativas podem ser exploradas usando esse tipo de mapa. O Al T6 e o PC retardante de chamas são exemplos disso.

O vidro da tela é um componente interessante, tanto do ponto de vista de materiais quanto de sua integridade mecânica. Ele foi desenvolvido já na década de 1960 pela Corning, mas ganhou sua popularidade atual através da sua aplicação específica em smartphones e tablets. Adicionando um novo registro (clcando com o botão direito) com as propriedades estimadas do *Gorilla glass* no mapa de Ashby comparativo, vemos que seu desempenho em flexão é melhor do que o dos materiais da carcaça. Nós usamos valores assumidos mas realistas: Densidade: 2420-2430 kg/m³, E_f: 75-77 GPa e σ_f: 800-895 MPa.

4. Usando o CES EduPack para Investigar Materiais e Elementos Críticos

No CES EduPack, existe um resumo da composição e uma composição detalhada para todos os materiais no nível 3. Na base de dados *Sustainability*, existem também links diretos para os principais elementos que compõem o material na tabela de dados de Elementos, onde informações adicionais são fornecidas para cada componente. Elementos críticos não são definidos universalmente, mas o conceito representa uma avaliação do risco de abastecimento de um elemento no futuro e a dificuldade em substituir a função que eles desempenham. Isso depende da disponibilidade de recursos naturais no país de fabricação e da aplicação tecnológica específica. Isso pode variar conforme novas reservas são encontradas ou quando as circunstâncias políticas e regulatórias mudam.

Composition overview (excerpt from Al 6061)			
Compositional summary ⓘ			
Al96-99 / Mg0.8-1.2 / Si0.4-0.8 / Cu0.15-0.4 / Cr0.04-0.35 (impurities: Fe<0.7, Zn<0.25, Mn<0.15, Ti<0.15, Other<0.15)			
Material family	ⓘ	Metal (non-ferrous)	
Base material	ⓘ	Al (Aluminum)	
Composition detail (metals, ceramics and glasses)			
Al (aluminum)	ⓘ	* 95.8	- 98.6 %
Cr (chromium)	ⓘ	0.04	- 0.35 %
Cu (copper)	ⓘ	0.15	- 0.4 %
Fe (iron)	ⓘ	0	- 0.7 %
Mg (magnesium)	ⓘ	0.8	- 1.2 %
Mn (manganese)	ⓘ	0	- 0.15 %
Si (silicon)	ⓘ	0.4	- 0.8 %
Ti (titanium)	ⓘ	0	- 0.15 %
Zn (zinc)	ⓘ	0	- 0.25 %
Other	ⓘ	0	- 0.15 %

A UE e os EUA publicaram listas de elementos críticos que estão incluídas no CES EduPack. As listas de 2017 são mostradas à direita. Esses elementos são críticos com relação à importância tecnológica / econômica, dificuldade de substituição e exposição aos riscos da cadeia de suprimentos, como monopólio, escassez de oferta, volatilidade de preços e conflitos locais. Se considerarmos os dois materiais candidatos para tablets em nossa comparação, nenhum deles contém mais de 5% em peso de elementos críticos, conforme indicado em suas fichas técnicas, vide o registro do PC retardante de chamas sem carga, abaixo.

Antimony **	Gadolinium *	Molybdenum *	Silicon *
Arsenic *	Gallium **	Neodymium **	Strontium *
Barium *	Germanium **	Niobium *	Tantalum +
Beryllium **	Holmium *	Osmium **	Tellurium +
Bismuth **	Indium **	Palladium **	Terbium **
Carbon, graphite *	Iridium **	Platinum **	Thorium *
Cerium **	Lanthanum**	Praseodymium *	Thulium **
Chromium **	Lithium +	Promethium *	Tin +
Cobalt **	Lutetium *	Rhodium **	Tungsten **
Dysprosium **	Magnesium *	Ruthenium **	Ytterbium *
Erbium **	Manganese +	Samarium **	Yttrium **
Europium **	Mercury *	Scandium **	

* = EU Critical Materials list, + = US Critical Materials list

Restricted substances risk indicators		
RoHS (EU) compliant grades?		
REACH Candidate List indicator (0-1, 1 = high risk)		0.18
Notes May contain restricted (wt%): Flame-retardant up to 15%, Stabilizer / Pigment up to 0.7%, UV-stabilizer up to 1.9%		
SIN List indicator (0-1, 1 = high risk)		0.18
Notes May contain restricted (wt%): Flame-retardant up to 15%, Stabilizer / Pigment up to 0.7%, UV-stabilizer up to 1.9%		
Critical materials risk		
Contains >5wt% critical elements?		No

Tanto os indicadores de risco de materiais críticos quanto os de substâncias restritas estão listados nas fichas técnicas de nível 3, conforme mostrado à esquerda. Para obter mais informações sobre a restrição da UE a substâncias nocivas (RoHS) e a legislação REACH, bem como a lista SIN, basta clicar nos ícones de informações .

No banco de dados de sustentabilidade, há também uma tabela de dados sobre Legislação e Regulamentações que fornece um resumo dos requisitos legais mais importantes relacionados a materiais, como a mais recente diretiva RoHS2 e a legislação REACH. A adequação dos materiais depende das substâncias específicas usadas nos materiais. Por exemplo, um polímero retardante de chamas pode conter retardantes de chamas polibromados (por exemplo, bifenilo polibromado, PBB), alguns dos quais são restritos ("banidos") em aplicações específicas, tais como dispositivos eletrônicos, mas permitidos em outras. Neste exemplo, os indicadores de substâncias restritas mostram que nosso polímero de policarbonato poderia conter uma variedade de aditivos restritos. Um valor de risco significativo de 0,18 mostra que será importante selecionar um tipo (*grade*) específico desse polímero, que é destinado a dispositivos eletrônicos que são vendidos globalmente, ou substituir o material, para obter baixa inflamabilidade e uma boa estabilidade a raios UV, sem a necessidade de aditivos químicos potencialmente restritos.

Recycling and end of life			
Recycle			
Embodied energy, recycling		* 32.4	- 35.8 MJ/kg
CO2 footprint, recycling		* 2.54	- 2.81 kg/kg
Recycle fraction in current supply		40.5	- 44.7 %
Downcycle			
Combust for energy recovery			
Landfill			
Biodegrade			

Table:	Legislation and Regulations
Subset:	Legislation and Regulations
	Legislation and Regulations
	Advisory organizations
	Asian Directives
	Environmental taxes
	EU Directives and Regulations
	Battery directive
	Control of Substances Hazardous to Health (COSHH)
	Ecodesign Directive
	End-of-Life Vehicles Directive (ELV)
	Energy Efficient Buildings Directive
	EU Automotive Fuel Economy Policy on carbon emissions
	Hazardous Substances Directive (RoHS2)
	Landfill Directive
	Product Liability Directive
	Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemical Substances Directive (REACH)
	SAVE Directive
	Supply-Chain Due Diligence (2014)
	The EU FLEGT Action Plan (2003)
	The EU Packaging Directive
	The EU Plant Health Directive (2000)
	The Reusing, Recycling and Recovering of Motor Vehicles
	UK Packaging Regulations (2003)
	Volatile Organic Compounds Directive (VOCs)
	Waste Electrical and Electronic Equipment Directive (WEEE)
	Waste Framework Directive (WFD)
	Water Framework Directive
	Health and Safety
	International Agreements and Protocols
	Standards
	Trading schemes and Subsidies
	US Environmental legislation

Retardantes de chamas também são problemáticos para reciclagem. Embora o PC retardante de chamas sem carga possa, teoricamente, ser reciclado, seria necessário um ciclo de materiais fechado, uma vez que suas propriedades são diferentes de outros tipos de PC devido ao aditivo. Isso reduz o valor do polímero, tornando a reciclagem uma opção pouco atraente.

A opção AI 6061, mostrada à direita, parece ser a melhor de uma perspectiva de materiais restritos. Metais e ligas que sempre contêm metais restritos como parte de sua composição não estão em conformidade, enquanto aqueles que podem conter esses metais como impurezas (isto é, nem sempre presentes) são assumidos como tendo graus de conformidade aceitáveis. O AI 6061 passa neste teste; risco = 0.

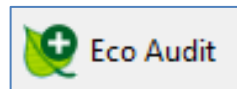
Níveis acima das % em peso listadas abaixo estão em não-conformidade:

- 0.1% Chumbo
- 0.1% Mercúrio
- 0.01% Cádmio
- 0.1% Cromo hexavalente (VI or Cr6+)
- 0.1% Bifenilos polibromados (PBB)
- 0.1% Éter Difenílico polibromado (PBDE)

Restricted substances risk indicators		
RoHS (EU) compliant grades?	ⓘ	✓
REACH Candidate List indicator (0-1, 1 = high risk)	ⓘ	0
SIN List indicator (0-1, 1 = high risk)	ⓘ	0
Critical materials risk		
Contains >5wt% critical elements?	ⓘ	No
Abundance risk level	ⓘ	Medium
Highest risk elements		Copper
Sourcing and geopolitical risk level	ⓘ	High
Highest risk elements		Silicon
Environmental country risk level	ⓘ	Medium
Highest risk elements		Silicon
Price volatility risk level	ⓘ	Very low
Highest risk elements		Copper
Conflict material risk level	ⓘ	Caution
Highest risk elements		Copper

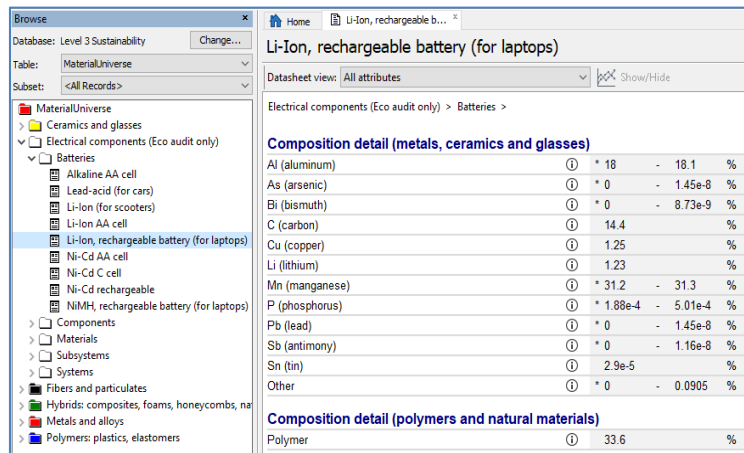
5. Auditorias Ecológicas (Eco Audits) e Investigação de Materiais Críticos para Tablets Leves

Substituindo um dos principais componentes estruturais, indo do PC retardante de chamas para o AI 6061 na tampa traseira da carcaça, removemos o risco de substâncias restritas no material pelo projeto e melhoria da reciclabilidade. Abaixo, usamos a ferramenta Eco Audit aprimorada para investigar as consequências no ciclo de vida pela modificação no produto. Uma estrutura de produtos (BOM) genérica e simplificada para um tablet com carcaça de PC é fornecida abaixo. Processos secundários e remoção de material são desconsiderados. Observe que os indicadores de alerta para materiais críticos, restritos e perigosos aparecem para aumentar a conscientização do projeto.



Qty.	Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	Secondary process	% removed	End of life	% recovered
1	Casing\Backplate	PC (low viscosity, molding and extrusion, flame retarded)	Virgin (0%)	0.07	Polymer molding		0	Landfill	100
4	Casing\Metal screws	Stainless steel, austenitic, AISI 316LVM, annealed	Typical %	0.0005	Forging		0	Landfill	100
6	Casing\Metal tabs	Stainless steel, austenitic, AISI 316LVM, annealed	Typical %	1e-05	Forging		0	Landfill	100
4	Casing\Plastic tabs	ABS (rubber modified, injection molding and extrusion)	Virgin (0%)	0.0025	Polymer molding		0	Landfill	100
1	Casing\Bottom plate	ABS (medium-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.011	Polymer extrusion		0	Landfill	100
1	Display\LCD panel	LCD panel (liquid crystal display)	Virgin (0%)	0.16	Incl. in material value		0	Downcycle	100
1	Display\Glass	Alumino silicate - 1720	Virgin (0%)	0.18	Glass molding		0	Landfill	100
1	Display\Plastic frame	ABS (high-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.008	Polymer molding		0	Landfill	100
1	Mainboard\PCB	Printed wiring board (for laptop)	Virgin (0%)	0.047	Incl. in material value		0	Downcycle	100
1	Interior parts\Antenna	Brass, CuZn36, C26800, hard (basis brass)	Typical %	0.0011			0	Landfill	100
1	Interior parts\Connector	Silicone (VMQ, heat cured, 10-30% fumed silica)	Virgin (0%)	0.0015	Polymer molding		0	Landfill	100
1	Interior parts\Rubber strip	Silicone (VMQ, heat cured, 10-30% fumed silica)	Virgin (0%)	0.0044	Polymer molding		0	Landfill	100
1	Interior parts\Battery housing	ABS (high-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.02	Polymer molding		0	Landfill	100
2	Interior parts\Speakers\ABS	ABS (high-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.001	Polymer molding		0	Landfill	100
2	Interior parts\Speakers\Aluminum	Aluminum, 5005, H14	Typical %	0.0005	Rough rolling		0	Landfill	100
1	Battery	Li-Ion, rechargeable battery (for laptops)	Virgin (0%)	0.127	Incl. in material value		0	Downcycle	100

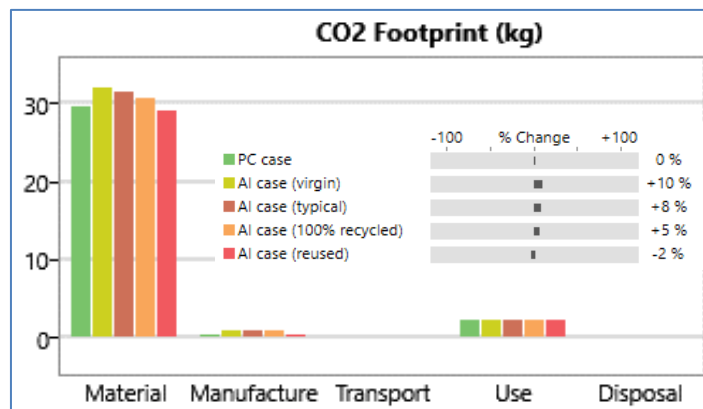
Como pode ser visto na estrutura de produtos acima, há vários componentes elétricos, como display LCD, placa de circuitos e baterias, adicionados ao banco de dados para representar peças genéricas. Esses registros são visíveis no modo navegação (*Browse*) se o subconjunto <All records> for escolhido, conforme mostrado à direita. Os registros fornecem mais detalhes das composições típicas para vários componentes elétricos que usamos no tablet. O resultado do Eco Audit para a opção de PC com retardante de chamas e vários cenários para o Al 6061 é resumido no gráfico abaixo.



As entradas na estrutura de produtos para 4 cenários alternativos do Al são apresentadas abaixo, cada uma substituindo o PC, acima. Elas representam vários graus de circularidade, desde um Al virgem de ciclo aberto com disposição em aterro até um Al de ciclo totalmente fechado, com reutilização da carcaça.

Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	Secondary process	% removed	End of life	% recovered
Casing\Backplate	Aluminum, 6061, T4	Virgin (0%)	0.13	Extrusion, foil rolling	Fine machining	80	Landfill	100
Casing\Backplate	Aluminum, 6061, T4	Typical %	0.13	Extrusion, foil rolling	Fine machining	80	Recycle	100
Casing\Backplate	Aluminum, 6061, T4	100.0%	0.13	Extrusion, foil rolling	Fine machining	80	Recycle	100
Casing\Backplate	Aluminum, 6061, T4	Reused part	0.13	Not applicable	Not applicable	0	Reuse	100

Pode ser visto no Eco Audit que, em todos os cenários investigados, a fase que domina o uso de energia e, portanto, a pegada de CO₂, é a *Produção do material* e não a fase de *Manufatura* ou *Uso*. Assumimos que os *Transportes* são de 22 000 km de frete marítimo (Xangai para Roterdã) para utilização (carga) na Europa, 10 W, 1 h, 250 dias/ano. A substituição do alumínio representa um aumento de 10% no consumo de energia e na pegada de CO₂, devido à maior massa do componente e ao processo de usinagem necessário para fabricá-lo.



No entanto, o maior impacto da "solução" carcaça de alumínio pode ser compensado pelo uso de materiais reciclados e pela reciclagem na fase de *Fim de Vida*. No total, a reutilização de alumínio em ciclo fechado resulta em um uso de energia e em uma pegada de CO₂, um pouco menores (2%) do que para o PC, com base em dois anos de uso. O custo, no entanto, permanece o mesmo. Para obter informações mais detalhadas sobre a pegada de CO₂ por componente, para melhorar o desempenho ambiental da fase dominante, o *relatório detalhado (Detailed report)* pode ser estudado clicando no botão ao lado do gráfico que resume as informações (*Summary chart*). No relatório do Al (virgem), é evidente que a bateria e a placa de circuito impresso causam a maior parte das emissões de CO₂, em torno de 40% cada.

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
Casing\Backplate	Aluminum, 6061, T4	Virgin (0%)	0.13	1	0.65	3.1	9.8
Casing\Metal screws	Stainless steel, austenitic, AISI 316LVM, annealed	Typical %	0.0005	4	0.002	0.0084	0.0
Casing\Metal tabs	Stainless steel, austenitic, AISI 316LVM, annealed	Typical %	1e-05	6	6e-05	0.00025	0.0
Casing\Plastic tabs	ABS (rubber modified, injection molding and extrusion)	Virgin (0%)	0.0025	4	0.01	0.04	0.1
Casing\Bottom plate	ABS (medium-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.011	1	0.011	0.04	0.1
Display\LCD panel	LCD panel (liquid crystal display)	Virgin (0%)	0.16	1	0.16	2.9	9.1
Display\Glass	Alumino silicate - 1720	Virgin (0%)	0.18	1	0.18	0.17	0.5
Display\Plastic frame	ABS (high-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.008	1	0.008	0.029	0.1
Mainboard\PCB	Printed wiring board (for laptop)	Virgin (0%)	0.047	1	0.047	13	39.3
Interior parts\Antenna	Brass, CuZn36, C26800, hard (basis brass)	Typical %	0.0011	1	0.0011	0.0025	0.0
Interior parts\Connector	Silicone (VMQ, heat cured, 10 -30% fumed silica)	Virgin (0%)	0.0015	1	0.0015	0.0098	0.0
Interior parts\Rubber strip	Silicone (VMQ, heat cured, 10 -30% fumed silica)	Virgin (0%)	0.0044	1	0.0044	0.029	0.1
Interior parts\Battery housing	ABS (high-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.02	1	0.02	0.073	0.2
Interior parts\Speakers \ABS	ABS (high-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.001	2	0.002	0.0073	0.0
Interior parts\Speakers \Aluminum	Aluminum, 5005, H14	Typical %	0.0005	2	0.001	0.0087	0.0
Battery	Li-Ion, rechargeable battery (for laptops)	Virgin (0%)	0.13	1	0.13	13	40.5
Total				29	1.2	32	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

6. Análise e Verificação da Realidade

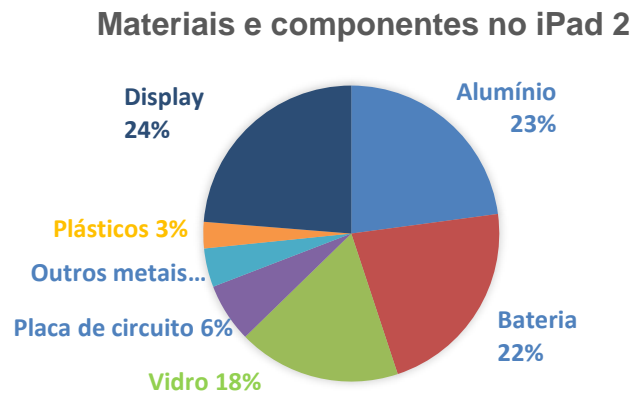
Neste estudo de caso industrial avançado, nos afastamos um pouco da metodologia tradicional de seleção de materiais, triagem e classificação de um grande número de materiais. Esta metodologia sistemática é usada principalmente para se selecionar um material para um novo produto. Em vez disso, comparamos os materiais de produtos existentes para destacar as propriedades de duas alternativas reais para uma tampa traseira de um tablet, a saber, policarbonato e alumínio.

Observando os dois principais índices de desempenho mecânico, resistência à flexão e rigidez à flexão, PC retardante de chamas e Al 6061, tomados como opções genéricas de materiais para carcaça na comparação (*benchmarking*), ambos apresentaram desempenho intermediário, com possibilidade de encontrar materiais similares com índices melhores [4]. O vidro da tela é um componente crítico para a integridade estrutural, então, adicionar as propriedades estimadas do Gorilla glass no gráfico comparativo confirma que ele funciona melhor do que os materiais da carcaça em termos de resistência à flexão e rigidez e, portanto, não limita o desempenho do tablet nestes quesitos. Gorilla glass é um álcali-aluminossilicato que possui dureza e resistência extraordinárias, devido ao processo de substituição de íons de sódio próximos à superfície por íons de potássio um pouco maiores, criando uma tensão residual de compressão.

Quando se trata de sustentabilidade, existem problemas reais em se optar pela carcaça em polímero, uma vez que contém retardantes de chamas que podem ser restritos. Por exemplo, a legislação mais rigorosa da UE, introduzida em 2006, levou a Palm a interromper o envio do smartphone Treo 650 para a Europa, devido às regulamentações da RoHS que limitam a quantidade aceitável de substâncias perigosas em produtos eletrônicos [5]. O Al tem sido uma opção desenvolvida, por exemplo, pela Apple, para reduzir substâncias perigosas e aumentar a reciclabilidade, o que é difícil de obter usando carcaças de polímeros contendo aditivos. Em 2007, o CEO da Apple, Steve Jobs, escreveu uma carta aberta [6] destacando as mudanças na política ambiental da empresa. Jobs introduziu o alumínio aeronáutico especificamente para melhorar a

reciclagem [7]. O alumínio reciclado requer apenas 5% da energia que seria necessária para produzir alumínio novo, e o processo produz 95% menos emissões de gases de efeito estufa. O CEO da empresa de alumínio Alcoa, Klaus Kleinfeld, afirma que 75% de todo o alumínio criado desde 1888 está ainda hoje em uso ativo [7].

Uma vez que os materiais e os processos de fabricação têm sido peça-chave no trabalho de sustentabilidade da Apple, ele se torna um exemplo interessante para dispositivos, como os tablets. O alumínio foi introduzido não apenas em laptops, mas também em iPhones e iPads, como mostrado à direita. Além disso, substâncias restritas e perigosas, como berílio, mercúrio, chumbo, arsênico, PVC, ftalatos e retardantes de chamas bromados foram eliminadas, o que mostra quanta importância é dada à seleção dos materiais.



Outro aspecto abordado pelo Eco Audit na seção anterior é a economia circular. As carcaças de Al são mais duráveis (desgaste, resistência a riscos, degradação por UV, etc.) do que os polímeros e permitem a reutilização. Existem agora vários programas, nos quais se devolve tablets e telefones para remanufatura, o que significa reutilizar pelo menos algumas peças em produtos novos. Robôs dedicados também foram desenvolvidos pelo fabricante para desmontagem, em particular do iPhone 6. O relatório de responsabilidade ambiental de 2017 da Apple [8] revela que metais preciosos recuperados de iPhones antigos valem muito dinheiro. 27,8 toneladas métricas de matérias-primas foram extraídas de dispositivos descartados, incluindo 1 tonelada de ouro. O ouro sozinho correspondeu a cerca de US\$ 40 milhões. Além disso, a empresa extraiu 1360 toneladas de cobre (no valor de US\$ 6,4 milhões) e 2040 toneladas de alumínio (US\$ 3,2 milhões) [9].

7. O Que o CES EduPack nos Ajuda a Compreender?

O CES EduPack é um recurso muito útil para ensinar o processo de projeto, trabalhando com ferramentas visuais. O educador pode facilmente demonstrar como tomar boas decisões na escolha de materiais e os alunos podem explorar interativamente formas de selecionar e avaliar materiais em projetos reais. Nossos Estudos de Casos Industriais Avançados têm como objetivo inspirar e orientar o desenvolvimento de produtos, prover o conhecimento necessário e facilitar o entendimento do assunto.

Neste estudo de caso, o CES EduPack sugere as seguintes conclusões a respeito dos tablets:

- O banco de dados *Sustainable Development* possui diversos materiais e dados úteis que promovem o entendimento das decisões sobre materiais durante o processo de desenvolvimento do produto. Nós exploramos com sucesso a área de eletrônicos de consumo.
- As ferramentas de visualização permitem que rapidamente se tenha uma visão geral das propriedades do material para se comparar diferentes opções de tampas traseiras, analisando, por exemplo, produtos existentes. Materiais novos ou exclusivos, como Gorilla glass podem ser adicionados.
- O *Enhanced Eco Audit* nos ajudou a estimar os prós e contras do ciclo de vida do alumínio em comparação com o policarbonato em termos de energia, pegada de CO₂ e custo. No entanto, deve-se estar ciente das grandes incertezas das propriedades ecológicas.
- Os resultados mostram que o Al 6061, material sugerido para a tampa traseira, se compara bem com o policarbonato retardante de chamas quando se trata de propriedades mecânicas e a verificação da realidade indica que esse movimento está alinhado com o pensamento de sustentabilidade dos principais fabricantes nos últimos 10 anos.

Referências

1. www.statista.com/statistics/272595/global-shipments-forecast-for-tablets-laptops-and-desktop-pcs/
2. Tehan, P. and Kandlikar, M., “Comparing Embodied Greenhouse Gas Emissions of Modern Computing and Electronics Products” including the 95-page supplement of “Supporting information”, Environmental Science and Technology, Environ. Sci. Technol. 2013, 47, 3997–4003 (dx.doi.org/10.1021/es303012r).
3. For the methodology, see for example, M F Ashby, “Materials Selection in Mechanical Design”, 5th edition, Butterworth Heinemann, Oxford, UK. (2016) ISBN: 978-0-08-100599-6.
4. Jason. M, “Analysis: iPhone 6S May Use 6013 Aluminum Alloy Instead of 7000 Series Alloys” Blog: dailytech.com (Gadgets), June 18, 2015
5. Nancy Gohring, www.macworld.com/article/1051643/treo.html
6. appleinsider.com/articles/07/05/02/steve_jobs_unveils_changes_to_apples_environmental_policy.html
7. Josh Ong, appleinsider.com/articles/11/03/26/apples_aluminum_strategy_aids_shift_to_greener_products_report.html
8. https://images.apple.com/environment/pdf/Apple_Environmental_Responsibility_Report_2017.pdf
9. Daniel Cooper, <https://www.engadget.com/2016/04/15/apple-recycles-gold-makes-profit/>