

Tecnologia InCell em Displays TFT

Fundamentos, Necessidade, Custo e Valor para IHMs Industriais, Medicas e Automotivas

HTMG Marketing Internacional | Valinhos, SP | Abril 2026 | Versao 3

1. Introducao

A tecnologia InCell representa uma das evolucoes mais significativas na engenharia de displays TFT com toque integrado. Ao incorporar os eletrodos de deteccao capacitiva diretamente dentro das camadas de celulas do painel LCD, ela elimina a necessidade de uma camada de sensor separada — reduzindo espessura, melhorando a transmissao optica e aumentando a robustez construtiva.

Este artigo destina-se a engenheiros de hardware e desenvolvedores de sistemas que especificam ou integram modulos de IHM (Interface Homem-Maquina) para aplicacoes industriais, medicas e automotivas. Aborda os antecedentes tecnicos que tornaram a tecnologia necessaria, seus fundamentos construtivos, consideracoes de integracao de hardware, custo e valor percebido pelo cliente final.

2. Por que a InCell se fez necessaria

2.1 Limitacoes das arquiteturas predecessoras

As primeiras implementacoes comerciais de toque capacitivo projetado (arquitetura G+G — Glass + Glass) adicionavam dois substratos de vidro extras ao painel TFT, cada um com eletrodos de ITO (oxido de indio e estanho). O resultado era um stack mecanicamente espesso, com quatro interfaces opticas adicionais, cada uma causando reflexao parcial de Fresnel e reducao de transmissao. [1]

A evolucao para GFF (Glass-Film-Film) e depois para OGS (One Glass Solution) reduziu o numero de substratos, mas manteve o sensor como componente externo ao painel TFT. O problema central — a existencia de interfaces opticas adicionais e de uma camada fisicamente separada sujeita a delaminar — nao foi resolvido em nenhuma dessas geracoes.

Em IHMs industriais expostas a variacao termica severa (-30 a $+85$ °C), a delaminar da camada OCA (optically clear adhesive) entre painel e sensor era causa frequente de falha de campo — com conseqente parada de linha e custo de reparo elevado. A norma **IEC 60068-2-14** (thermal shock) sistematicamente eliminava amostras OGS que passavam na qualificacao inicial mas falhavam em ciclagem acelerada. [2]

2.2 O problema da reflexao de Fresnel e legibilidade em campo

Cada interface entre materiais de diferentes indices de refracao causa reflexao. Em um display convencional com sensor OGS, ha pelo menos duas interfaces extras alem do vidro de cobertura. Isso reduz a transmissao total em 5 a 8 pontos percentuais e aumenta o *haze* (difusao de luz). Para IHMs industriais em ambientes com iluminacao direta, equipamentos medicos que exibem imagens diagnosticas e telas de infotainment automotivo expostas ao

sol, esse efeito compromete diretamente a usabilidade. O limiar de contraste percebido exigido por **SAE J1757-2** para displays automotivos em luz solar e de 3:1 — difícil de atingir com stacks OGS sem backlight de alta potencia. [3]

2.3 A demanda por perfis de gabinete cada vez menores

O avanço dos anos 2010 impõe requisitos de design progressivamente mais restritivos: tablets médicos portáteis, IHMs embutidos em braços robóticos, telas de infotainment automotivo com profundidade de gabinete inferior a 8 mm e dispositivos wearables de monitoramento clínico. A soma de painel TFT + sensor externo + vidro de cobertura tornava impossível atingir esses perfis com arquiteturas convencionais.

A Sharp Corporation foi pioneira na comercialização de painéis TFT LCD com touch InCell, com apresentações técnicas na SID (Society for Information Display) a partir de 2012 [4]. A Apple incorporou o conceito em escala industrial no iPhone 5, lançado em 2012, sob a denominação 'in-cell touch', consolidando o termo na indústria e provando a viabilidade de produção em massa — o que reduziu progressivamente o custo da tecnologia para o segmento industrial e médico. [5]

2.4 Ruído elétrico: o problema de acoplamento TFT e sensor

Nos painéis TFT convencionais, os transistores de comutação de pixels operam com pulsos de gate de alta frequência que geram interferência eletromagnética sobre o sensor de toque externo. A solução exigia blindagens adicionais ou chipsets com filtragem robusta — aumentando custo, espessura e consumo.

A integração InCell viabilizou a sincronização elétrica entre a varredura do touch controller e o ciclo de atualização do display (janela VBLANK — vertical blanking interval), eliminando o acoplamento de ruído sem blindagem dedicada. Isso foi um dos avanços de engenharia que permitiu chipsets de controle mais compactos e com menor consumo para aplicações embarcadas. [5]

3. Fundamentos construtivos

Na arquitetura InCell, os eletrodos de detecção — normalmente ITO ou metal mesh (malha metálica de prata ou cobre) — são depositados durante a própria fabricação do substrato TFT, aproveitando etapas fotolitográficas já existentes. A pilha de camadas resultante é:

Tecnologia	Posição do sensor	Camadas extras	Espessura relativa
GFF (Glass-Film-Film)	Externo, filmes PET	2-3	+++ (mais espessa)
OGS (One Glass Solution)	No vidro de cobertura	1-2	++
OnCell	Entre filtro de cor e vidro	1	+
InCell	Dentro das células TFT	0 (integrado)	- (mínima)

A detecção capacitiva mútua (mutual capacitance) é o mecanismo predominante: uma grade de eletrodos transmissores (Tx) e receptores (Rx), compartilhada com os eletrodos comuns do LCD, mede a variação de capacitância causada pelo dedo ou caneta na superfície — sem camada adicional dedicada exclusivamente ao toque.

4. Nota tecnica: caneta stylus ativa em IHMs

O termo stylus (do latim stilus, instrumento de escrita) designa, no contexto de displays, um dispositivo de entrada pontiforme de alta precisao, usado em substituicao ou complemento ao toque por dedo. Ha dois tipos relevantes para IHMs profissionais:

- Stylus passiva (capacitiva): ponta condutora que simula o dedo humano. Opera em qualquer tela capacitiva sem eletronica propria, mas sem beneficio de precisao adicional. Resolucao tipica: 1-2 mm — mesma do dedo.
- Stylus ativa (caneta ativa): dispositivo com eletronica interna que emite sinal proprio, detectavel pelo touch controller via protocolo especifico. Exemplos: USI 2.0 (aberto, suportado por multiplos fabricantes de IC), MPP 2.0 (Microsoft), Wacom EMR. Permite resolucao de posicao abaixo de 0,1 mm, rejeicao total de toque por palma, deteccao de inclinacao e, em implementacoes especificas, sensibilidade a pressao. Latencia: 9-12 ms em paineis InCell de geracao atual. [6]

Aplicacoes industriais e medicas onde a caneta ativa e relevante:

- Calibracao de equipamentos de medicao (CMMs, sistemas de visao industrial): precisao de posicao abaixo de 0,5 mm na tela.
- Assinatura digital em prontuarios electronicos e prescricoes medicas: requisito de autenticidade biometrica (CFM e LGPD).
- Anotacao em esquemas eletricos e diagramas P&ID em sistemas MES/SCADA.
- Ambientes com operadores usando luvas de borracha nitrilica (espessura ate 0,5 mm): a stylus ativa opera de forma determinista onde o dedo enluvado pode ser detectado de forma inconsistente.

5. Integracao de hardware — consideracoes praticas

5.1 Interface eletrica do touch controller

A maioria dos touch controllers InCell para industrial e medico utiliza barramento I2C (endereço padrao 0x5D ou configuravel via pino ADDR) ou SPI, com as seguintes linhas de controle obrigatorias no projeto de PCB:

- INT (interrupt): saida de dreno aberto — sinaliza evento de toque. Pull-up de 4,7 kOhm para VDD tipico. Latencia de interrupt ate primeiro dado valido: 0,5-2 ms dependendo do IC.
- RST (reset): entrada ativa em nivel baixo. Tempo de reset minimo tipicamente 100 us; aguardar 200 ms apos subida antes do primeiro comando I2C.
- POWER_EN: em alguns modulos, o controlador de toque e alimentado via trilha separada (1,8 V para nucleo, 3,3 V para I/O) — verificar sequencia de power-on no datasheet do modulo.

Tempo de inicializacao do touch controller apos power-on: tipicamente 300-500 ms ate primeiro evento valido. Em sistemas com boot critico (automotivo ASIL-B, equipamentos medicos com display de status imediato), esse parametro deve ser verificado na especificacao do modulo e considerado no sequenciamento de inicializacao do firmware.

5.2 Protecao contra ESD e EMC

A eliminacao da camada OGS altera o caminho de descarga eletrostatica. Em arquiteturas InCell, o vidro de cobertura esta diretamente sobre o painel TFT — o que reduz a resistencia de caminhos de descarga acidentais para os transistores. O projeto de hardware deve prever:

- TVS (Transient Voltage Suppressor) bidirecional nas linhas de dados do touch controller (I2C/SPI) — especialmente em IHMs que saem do gabinete como modulo stand-alone.
- Aterramento do vidro de cobertura (conductive bezel) via gasket condutor ou fita de cobre para o chassis — critico para conformidade com IEC 60601-1-2 (imunidade EMC para dispositivos medicos) e IEC 61000-4-2 (ESD, nivel 4: 8 kV contato, 15 kV ar).
- Roteamento de GND em plano solido sob as trilhas do barramento de toque para minimizar antena irradiante.

5.3 Protecao ambiental: IP rating

A tecnologia InCell por si nao define o nivel de protecao IP do modulo — isso e determinado pelo projeto mecanico do conjunto (vidro de cobertura + moldura + vedacao). Porem, a ausencia de interfaces laminadas entre camadas elimina o vetor de entrada de umidade por delaminar, permitindo vedacoes mais simples e confiaveis. Niveis tipicos por aplicacao:

Aplicacao	IP minimo recomendado	Norma de referencia	Observacao
Industrial (painel eletrico externo)	IP65	IEC 60529	Jato de agua de qualquer direcao
Industrial (interna, area limpa)	IP54	IEC 60529	Poeira limitada + respingos
Medico (area umida, limpeza quimica)	IP67	IEC 60529	Imersao a 1 m por 30 min
Medico (lavagem por autoclave)	IP69K	ISO 20653	Jato de alta pressao e temperatura
Automotivo (cockpit interno)	IP40	ISO 20653	Sem requisito de agua direta
Automotivo (externo, off-road)	IP67	ISO 20653	Imersao e poeira totalm. vedados

5.4 Operacao com luvas e superficies molhadas

Touch controllers InCell para grau industrial suportam configuracao de sensibilidade para operacao com luvas de ate 0,5 mm (borracha nitrilica, latex) e deteccao em superficie molhada via parametros de firmware (limiar de deteccao, nivel de filtragem, algoritmo de rejeicao de agua). Verificar no datasheet do IC de toque se o modo 'glove' e 'wet' sao suportados e se requerem licenca de firmware adicional.

6. Aplicacoes e valor por segmento

6.1 IHMs industriais

Em automação industrial (CLPs, SCADA, robótica colaborativa, máquinas CNC), os benefícios InCell são diretos e mensuráveis para o engenheiro de projeto e para o operador:

Benefício	Impacto para o engenheiro	Impacto percebido pelo operador
Perfil ultracompacto (< 6 mm de stack)	Viabiliza integração em portas de painéis elétricos e braços robóticos	Design mais moderno, menos obstrução visual
Ausência de camada laminada (OCA)	Elimina falha por delaminação em ciclagem térmica (IEC 60068-2-14)	Sem defeitos de tela em campo — menos chamados de manutenção
Operação com luva nitrílica	Parâmetro configurável via firmware do touch IC	Operação direta sem remover EPI — ganho de tempo e segurança
Menor reflexo / maior contraste	Transmissão +5-8% vs. OGS — backlight equivalente com menor potência	Legibilidade superior em ambientes iluminados
Suporte a stylus ativa (USI 2.0)	Interface I2C ou SPI padrão, SDK disponível para Linux/RTOS	Anotação precisa em diagramas e esquemas no próprio equipamento

6.2 Equipamentos médicos

Dispositivos médicos com IHM (ventiladores, bombas de infusão, sistemas de imagem, monitores de sinais vitais, camas hospitalares inteligentes) impõem requisitos adicionais que a InCell atende de forma específica:

- Alta transmissão óptica: relevante para fidelidade de cor em exibição de imagens diagnósticas. Monitores Classe II para radiologia exigem calibração DeltaE com transmissão controlada — a InCell reduz a variável de interface óptica externas.
- Superfície antisséptica: a ausência de interfaces entre camadas elimina vetor de acúmulo de umidade e fluidos biológicos. Vidro de cobertura quimicamente temperado (ex.: Corning Gorilla Glass, SCHOTT Xensation) pode ser aplicado diretamente, suportando limpeza com hipoclorito de sódio e álcool isopropílico 70%.
- Conformidade com IEC 60601-1:2005+AMD2:2020 [7]: os módulos devem ser avaliados dentro do sistema completo para atender isolamento elétrico (2MOPP). A eliminação da camada de ITO externo reduz capacitâncias parasitas e correntes de fuga — favorável no ensaio de corrente de toque ao paciente.
- Assinatura digital e prontuário eletrônico: suporte a stylus ativa USI 2.0 para conformidade com CFM 1821/2007 (prescrição eletrônica) e LGPD (autenticidade de registros). [6]
- Inicialização do touch controller em < 500 ms: em monitores multiparamétricos e ventiladores, o display deve estar operacional imediatamente após power-on. Verificar este parâmetro no datasheet do módulo.

6.3 IHMs automotivas

O setor automotivo impõe as especificações mais rigorosas em termos de qualificação de componentes e condições de operação:

- AEC-Q100 Rev. H Grade 2 [8]: qualificação de semicondutores para temperatura de junção de -40 degC a +105 degC. Touch controllers InCell para automotivo devem ser AEC-Q100 qualificados — verificar certificado do fabricante do IC, não apenas do módulo.
- Legibilidade solar (SAE J1757-2 [3]): com backlight de 1.000+ nits e redução de reflexo pelo InCell, o contraste percebido em luz solar direta ultrapassa o limiar de 3:1 exigido pela norma.

- Palm rejection e detecção de toque intencional: controladores InCell automotivos implementam algoritmos de rejeição de contato acidental (cotovelo, mão de apoio) configurados via registros de firmware do touch IC — não via parâmetros de montagem ou de processo (OSAT). Calibrar conforme especificação do fornecedor do IC.
- Integração com haptic feedback: a ausência da camada OGS permite acoplar atuadores piezoelétricos diretamente ao vidro de cobertura com menor massa total, reduzindo a latência do retorno tátil — relevante para interfaces de controle veicular sem desvio visual do condutor.
- Tempo de boot display + touch: sistemas automotivos ASIL-B exigem display operacional em < 2 s após ignição. Verificar latência de inicialização do touch controller no datasheet e no ensaio de qualificação ISO 26262.

7. Estrutura de custo

7.1 Comparativo geral de componentes

A análise abaixo compara o subassembly completo (painel + backlight + sensor de toque + controlador + FPC + vidro de cobertura) em volumes industriais típicos de 500 a 5.000 unidades/ano, com fornecimento FOB Ásia:

Item de custo	Arquitetura OGS + laminação	Arquitetura InCell
Painel TFT IPS (sem touch integrado)	Custo base — referência	Não se aplica (touch já integrado)
Módulo TFT InCell (touch integrado)	Não se aplica	Fator 1,5x a 1,7x vs. painel base
Sensor de toque OGS separado	Adiciona 30 a 45% sobre o painel	Eliminado — integrado ao módulo
Touch controller IC externo (ex.: Goodix GT9271) [10]	USD 1,50 a 3,00/un. adicional	Incluído no módulo InCell
Laminação óptica OCA (3M 8212 ou equiv.) [11]	USD 10 a 18/un. (material + processo)	Eliminada na maioria dos projetos
Vidro de cobertura químico-temperado (CG)	Necessário separadamente	Opção inclusa ou vendida com módulo
Custo total do subassembly	Base: 100%	Faixa orientativa: 85 a 95% do OGS
Risco de falha por delaminar (IEC 60068-2-14)	Presente — custo de campo não previsto	Eliminado estruturalmente
Consumo de backlight equivalente	Referência (100%)	Redução de 5 a 8% (maior transmissão)

7.2 Fator orientativo: BOM para módulo 10,1" 1280x800 IPS

O exemplo abaixo usa como referência um módulo de 10,1", resolução 1280x800 (WXGA), painel IPS, grau industrial (-30 a +85 degC), vidro de cobertura 1,8 mm quimicamente temperado, 10 pontos de toque. Volume de referência: 500 unidades/ano, FOB Ásia. Fontes:

catalogo de distribuidores eletronicos (Digi-Key, Mouser) [12], paginas de produto de fabricantes (Tianma, Innolux, Newhaven Display) [13][14][15] e cotacoes HTMG 2024-2025.

Cenario A — TFT com sensor OGS + laminacao separada

#	Componente	Especificacao de referencia	USD/un. (FOB, qty 500)
1	Painel TFT 10,1" 1280x800 IPS (sem touch)	Grade industrial, -30/+85 degC, 500 nits	22 – 32
2	Sensor de toque OGS (G+G, ITO)	10 pontos, vidro 1,1 mm, transmissao ~88%	9 – 15
3	Touch controller IC (Goodix GT9271 ou equiv.)	I2C, 10 pontos, -40/+85 degC [10]	1,50 – 3,00
4	Laminacao optica OCA (3M 8212, 0,175 mm)	Material + processo de laminacao [11]	10 – 18
5	Vidro de cobertura (CG) 1,8 mm temperado	Corning Gorilla ou SCHOTT Xensation [16]	5 – 10
6	FPC + conector ZIF 40 pinos 0,5 mm pitch	Standard de mercado	2 – 4
	Subtotal subassembly — Cenario A		49 – 82

Cenario B — Modulo TFT InCell integrado

#	Componente	Especificacao de referencia	USD/un. (FOB, qty 500)
1	Modulo TFT InCell 10,1" 1280x800 IPS	Touch integrado, -30/+85 degC, 500 nits, IC touch incluso [13][14]	40 – 58
2	Vidro de cobertura (CG) 1,8 mm (se nao incluso)	Frequentemente ja incluso no modulo — verificar BOM do fabricante	0 – 10
3	FPC + conector (geralmente incluso no modulo)	Standard; confirmar com fornecedor	0 – 2
	Subtotal subassembly — Cenario B		40 – 70

Indicador	Valor orientativo
Custo do modulo InCell vs. painel TFT simples	Fator 1,5x a 1,7x (modulo isolado)
Subassembly completo InCell vs. OGS+laminacao	Fator 0,85x a 0,92x — InCell resulta em menor custo total
Economia com eliminacao da laminacao OCA	USD 10 a 18 por unidade
Ponto de equivalencia de custo (break-even)	Atingido em subassemblies com laminacao acima de USD 12/un.

Indicador	Valor orientativo
Reducao de consumo energetico (backlight equiv.)	5 a 8% — relevante em aplicacoes com bateria ou UPS
Reducao de espessura do stack optico	0,8 a 1,5 mm — decisivo para gabinetes com profundidade < 8 mm

Interpretacao para o desenvolvedor de hardware: o modulo InCell e individualmente mais caro que um painel TFT sem touch, mas o subassembly completo de IHM — contabilizando sensor OGS, laminacao, vidro de cobertura e risco de falha de campo — tem custo total inferior em 8 a 15%. Em projetos com exigencia de IP65+, ciclagem termica ou vida util acima de 5 anos, a vantagem de TCO (Total Cost of Ownership) e consistente.

Transparencia sobre fontes: *precos do Cenario A e B sao estimativas orientativas baseadas em catalogos publicos de distribuidores (Digi-Key, Mouser) e paginas de produto de fabricantes (Tianma, Innolux, Newhaven Display) em abril 2025, complementadas por cotacoes diretas via HTMG. Sao referencias para planejamento de BOM — solicite cotacao formal a HTMG para valores precisos no volume do seu projeto.*

8. Displays InCell disponiveis para o mercado brasileiro via HTMG

A HTMG Marketing Internacional e seus parceiros fabricantes ja dispoe de modulos TFT InCell disponiveis para o mercado brasileiro, com suporte tecnico local em portugues, amostras para qualificacao e documentacao para aplicacoes medicas e industriais.

Portfólio disponivel para consulta e amostragem

Especificacao	Faixa disponivel	Obs. para o engenheiro
Diagonal	3,5" a 15,6"	Kits de avaliacao (EVK) disponiveis em 7" e 10,1"
Resolucao	480x272 ate 1920x1080 (FHD)	Modelos WVGA, WXGA e FHD com touch IC integrado
Interface de video	RGB, MIPI DSI, LVDS, eDP	Confirmar com HTMG por diagonal e resolucao
Touch controller (interface)	I2C (0x5D) ou SPI	Datasheet completo com mapa de registros disponivel
Pontos de toque simultaneos	1, 2 e 10 pontos	10 pontos em modelos de 7" e acima
Temperatura de operacao	-30 a +85 degC (industrial) / 0 a +50 degC (std)	Grade industrial confirmado no part number
Vidro de cobertura	CG 1,0 mm e 1,8 mm (temperado)	Opcao anti-reflexo (AG) e anti-impressao digital (AF)
Suporte a stylus ativa USI 2.0	Modelos 10,1" e 13,3" (consultar)	SDK Linux e Android disponivel
Grau automotivo AEC-Q100 G2	7" e 10,1" (consultar disponibilidade)	Documentacao de qualificacao mediante NDA

Especificacao	Faixa disponivel	Obs. para o engenheiro
Certificacoes medicas	IEC 60601-1 avaliacao disponivel	Relatorios de biocompatibilidade sob demanda
SDK / drivers	Linux, Android, FreeRTOS, QNX	Confirmacao por modelo — solicitar a HTMG
MOQ para amostra	1-5 pecas (EVK) / 50-100 (lote piloto)	Prazo de entrega: 4-8 semanas de Ásia

Para datasheets completos, EVK, cotacao e suporte tecnico de integracao, entre em contato com a equipe HTMG.

9. Tendencias e evolucao

- InCell com metal mesh: substituicao do ITO por malha metalica de prata (Ag) ou cobre (Cu), aumentando a transmissao para alem de 90% e eliminando o padrao de Moire em displays de alta resolucao.
- InCell LTPO (Low Temperature Polycrystalline Oxide): combinacao com transistores de oxido para taxas de atualizacao variaveis (1-120 Hz), com reducao de consumo de ate 40% em wearables medicos de monitoramento continuo. Tianma e BOE publicam especificacoes tecnicas desses paineis em seus catalogos de produto. [13][14]
- Force Touch InCell: integracao de sensores piezoresistivos para deteccao de pressao (eixo Z), viabilizando interfaces de dois estagios (toque leve / pressao firme) sem camada adicional.
- InCell em substratos flexiveis: paineis dobraveis para equipamentos medicos vestiveis e IHMs em superficies curvas de cabines aeronauticas e automotivas.
- Reducao de latencia: ciclos de varredura de 240 Hz em touch InCell ja disponiveis em paineis de ultima geracao, reduzindo latencia total de entrada para < 4 ms — relevante para controles de maquinaria de alta responsividade.

10. Conclusao

A tecnologia InCell emergiu como resposta direta e verificavel as limitacoes das arquiteturas de toque capacitivo externo: reflexao de Fresnel, delaminar por ciclagem termica, espessura incompativel com gabinetes modernos e acoplamento de ruido eletrico. Para engenheiros de hardware nas verticais industrial, medica e automotiva, os criterios de especificacao mais criticos sao: qualificacao de temperatura (grau industrial ou AEC-Q100), protocolo do touch controller (I2C/SPI, sequencia de inicializacao, tempo ate primeiro evento), suporte a operacao com luvas, nivel de protecao IP, conformidade normativa e disponibilidade de SDK para a plataforma-alvo.

A HTMG Marketing Internacional, com mais de 25 anos de atuacao como representante de fabricantes internacionais no mercado brasileiro, disponibiliza consultoria tecnica, amostras para qualificacao e suporte a integracao de modulos InCell para todas essas aplicacoes.

Referencias

Referencias [1] a [3] e [7] a [9] são normas e especificações de acesso público. Referências [4] a [6] e [10] a [16] são documentos técnicos de fabricantes e distribuidores com acesso público verificável. Estimativas de custo da seção 7 combinam catálogos públicos com cotações diretas HTMG.

- [1] Bhowmik, A. K., Li, Z., & Bos, P. J. (Eds.). Mobile Displays: Technology and Applications. Wiley-SID Series in Display Technology, 2008. ISBN 978-0-470-72491-5.
- [2] IEC 60068-2-14:2009. Environmental testing — Part 2-14: Test N: Thermal shock. International Electrotechnical Commission. Disponível em: iec.ch/publication/270
- [3] SAE J1757-2:2019. Optical Performance Test for Automotive Displays — Part 2: Sunlight Readability. SAE International. Disponível em: sae.org/standards/content/j1757/2
- [4] Sharp Corporation. 'In-cell capacitive touch technology for mobile LCD.' SID Display Week 2012, Symposium Digest of Technical Papers. Acervo consultável em: sid.org/publications/display-week-proceedings
- [5] Apple Inc. 'Integrated touch sensor and display.' US Patent US8493330B2, concedido em 23 jul. 2013. Disponível em: patents.google.com/patent/US8493330B2
- [6] Universal Stylus Initiative (USI). USI 2.0 Specification — Active Stylus Interface Standard. USI Consortium, 2021. Disponível em: universalstylus.org/specifications
- [7] IEC 60601-1:2005+AMD1:2012+AMD2:2020. Medical electrical equipment — General requirements for basic safety and essential performance. IEC, Genebra. Disponível em: iec.ch/publication/67952
- [8] AEC-Q100 Rev. H (2014). Failure Mechanism Based Stress Test Qualification for Integrated Circuits. Automotive Electronics Council. Disponível em: aecouncil.com/AECDocuments.html
- [9] IEC 60529:2013. Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). IEC, Genebra. Disponível em: iec.ch/publication/2613
- [10] Goodix Technology. GT9271 Capacitive Touch Controller — Product Brief & Datasheet. Shenzhen, 2022. Disponível em: goodix.com/en/product/touch/touchscreen_gt9271 [acesso em abr. 2025]. IC amplamente adotado em painéis InCell industriais e médicos.
- [11] 3M Electronics. '3M Optically Clear Adhesive 8212 — Technical Datasheet.' St. Paul, MN, 2023. Disponível em: 3m.com — pesquisar por 'OCA 8212' em Electronic Solutions. Referência de mercado para laminação de displays.
- [12] Digi-Key Electronics / Mouser Electronics. Catálogo de módulos de display TFT 10,1" com touch capacitivo, consultado em abril 2025. Disponível em: digikey.com e mouser.com — filtro: 'TFT display 10.1 touch industrial'. Preços publicados para quantidades unitárias e em lote.
- [13] Tianma Microelectronics. TM101JVKP01 — 10.1-inch IPS TFT-LCD Module with Capacitive Touch. Product Specification v1.0. Shenzhen: Tianma, 2023. Disponível mediante registro em: tianma.com/products/mid-small-size
- [14] Innolux Corporation. 'AT101BN01 Series — 10.1 inch TFT-LCD Module.' Technical Specification. Miaoli: Innolux, 2022. Disponível mediante NDA/registo em: innolux.com/en/Products
- [15] Newhaven Display International. NHD-10.1-1024600AF-LSXV#-T — 10.1 inch TFT LCD display with capacitive touchscreen. Elgin, IL, 2024. Datasheet e preço públicos em: newhavendisplay.com e em distribuidores autorizados (Digi-Key, Mouser).
- [16] Corning Incorporated. 'Gorilla Glass — Product Information.' Corning, NY. Disponível em: corning.com/gorillaglass | SCHOTT AG. 'Xensation Cover Glass for Displays.' Mainz. Disponível em: schott.com/en-gb/products/xensation-cover-p1000308. Ambos: vidro quimicamente temperado para aplicações médicas e industriais.