

2 Trabalhos relacionados

Os estudos iniciais de sistemas *multitouch* datam de 1982, quando pesquisadores da Universidade de Toronto desenvolveram o primeiro dispositivo sensível à pressão simultânea de múltiplos dedos. Nos seus primeiros trabalhos, um dos pioneiros na área, Bill Buxton [12, 41, 40] propôs e demonstrou um *tablet* capaz de identificar múltiplos toques de dedos feitos em uma superfície e mencionou as dificuldades envolvidas na identificação das coordenadas desses pontos de contato e métodos para estimar a pressão exercida pelo dedo sobre a superfície do dispositivo. Nesses trabalhos também foi apontada a questão de como essa nova forma de interação do homem com a máquina poderia vir a ser utilizada de forma prática e construtiva. O princípio de funcionamento do dispositivo desenvolvido por Buxton está ilustrado na Figura 2.1 O sistema possuía uma máscara de papelão intercambiável para delimitar regiões relativas a um conjunto de barras de rolagem verticais e botões, visando fornecer ao usuário uma noção de quais elementos ele poderia manipular, uma vez que não havia uma imagem projetada sobre a superfície de manipulação.

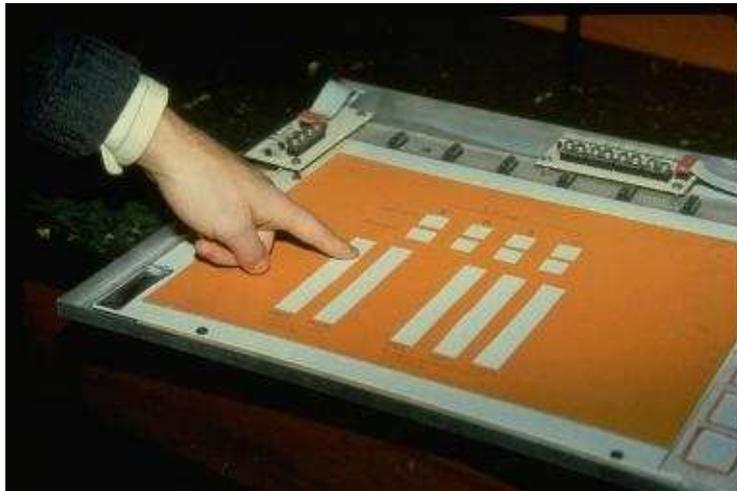


Figura 2.1 – Primeiro sistema *multitouch* desenvolvido por Bill Buxton [34].

Entre 1992 e 1995, surgiram os primeiros protótipos de sistemas *multitouch* com imagem projetada na tela [34, 39]. Tais sistemas faziam uso de um *tablet* sensível a apenas um toque para rastrear uma das mãos do usuário e de técnicas de visão computacional para identificar a posição e orientação da outra mão sobre a tela.

Os principais sistemas que marcaram a evolução do *multitouch* são descritos a seguir.

2.1 Diamond Touch

Em 2001, a Mitsubishi lançou o Diamond Touch [38], um sistema formado por uma superfície de projeção frontal sobre uma mesa que podia ser manipulado simultaneamente por até quatro usuários (Figura 2.2A). Para tal, a superfície do sistema era formada por um conjunto de antenas finas, ocultas debaixo da tela de projeção que reveste o topo da mesa, como ilustrado na Figura 2.2B. As cadeiras dos usuários eram conectadas a um computador através de um fio. Quando um usuário tocava em um determinado ponto sobre a superfície da tela, devido ao acoplamento capacitivo entre o seu dedo e as antenas distribuídas na tela, um sinal era gerado no fio ligado à cadeira daquele usuário. O computador processava esse sinal a fim de determinar a localização do ponto na mesa que foi tocado.

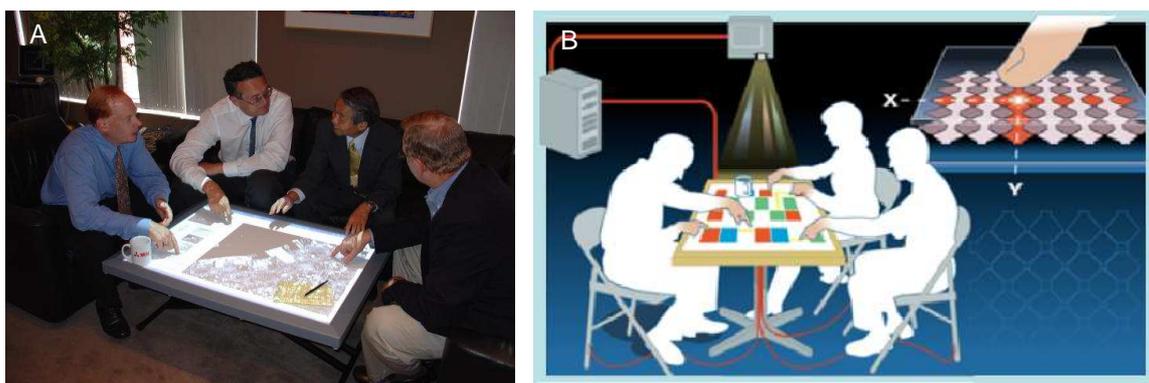


Figura 2.2 – Ilustração do sistema *multitouch* Diamond Touch. Sistema em uso (A). Esquema do seu funcionamento (B) [38].

2.2 Smart Skin

Em 2002, surgiu o Smart Skin [15]. Este sistema *multitouch* podia estimar a distância entre o dedo do usuário e a superfície da tela. O funcionamento do Smart Skin era baseado em uma grade retangular de fios de cobre, na qual os fios verticais e horizontais operavam como transmissores e receptores de sinais, respectivamente (Figura 2.3A). Um sinal senoidal era gerado nos transmissores e, por indução, os receptores recebiam o sinal em cada ponto de intercessão da grade. O par transmissor/receptor funcionava como um capacitor fraco. Dessa forma, quando um objeto aterrado e condutivo, como no caso de um dedo, aproximava-se dessa grade,

ele drenava parte do sinal formado. A velocidade de descarga do sinal era dada em função da distância entre o ponto da grade e o dedo do usuário. Medindo o sinal em cada ponto da grade e interpolando as coordenadas, era possível detectar a proximidade e a posição do dedo sobre a tela (Figura 2.3B).

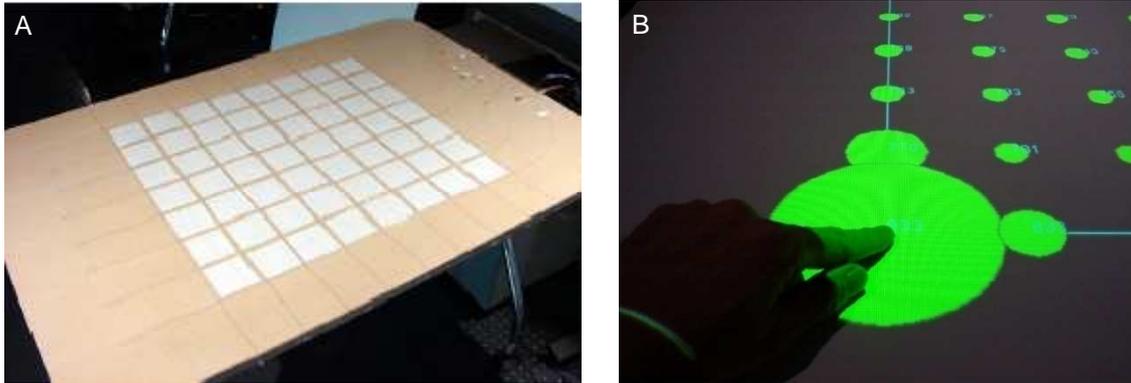


Figura 2.3 – Sistema *multitouch* Smart Skin. Grade de fios de cobre (A). Estimativa do afastamento do dedo do usuário da tela (B) [15].

2.3 Touch Light

Em 2004, começaram a surgir projetos *multitouch* com foco nas técnicas de visão computacional. O Touch Light [14] (Figura 2.4A), desenvolvido pela Microsoft Research, utilizava duas câmeras sensíveis ao espectro de luz infravermelho e uma fonte de luz infravermelha, posicionada na parte de trás de um vidro recoberto com um material holográfico translúcido [42]. Isso possibilitava que a câmera captasse objetos colocados na frente da tela, mesmo na presença de imagens exibidas pelo projetor que ficava posicionado na parte de trás da estrutura. Um esquema dessa configuração é mostrado na Figura 2.4B. Retificando as imagens obtidas pelas câmeras usando uma matriz de homografia e depois somando-as, era possível estimar a localização de múltiplos objetos próximos da tela. O Touch Light foi um dos pioneiros na utilização de *back projection*.

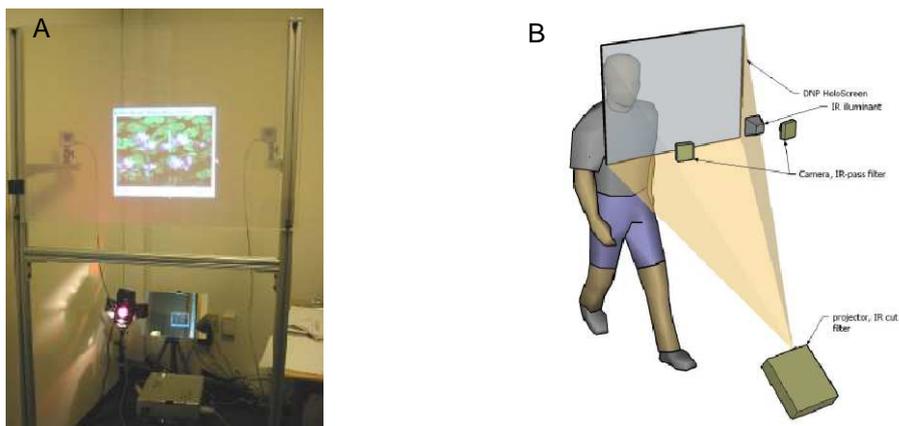


Figura 2.4 - O sistema *multitouch* Touch Light. Foto do sistema (A). Esquema do sistema (B) [14].

2.4 O sistema DI

Além do FTIR (discutido a seguir), uma técnica da visão computacional fazendo uso de iluminação difusa com luz infravermelha foi lançada comercialmente em 2007 através do sistema Microsoft Surface. Esse método, conhecido pela sigla DI (*diffuse illumination*), é ilustrado na Figura 2.5. No interior do Surface existe um projetor responsável por gerar as imagens que aparecem na superfície da estrutura, quatro câmeras e uma fonte de luz infravermelha (Figura 2.5 B). Nesse sistema, a superfície onde a imagem é projetada difunde a luz infravermelha emitida do interior da estrutura. Quando um objeto se aproxima da superfície de projeção, parte da luz infravermelha emitida no interior da estrutura é refletida pelo objeto e é capturada por uma das quatro câmeras, gerando uma região mais clara na imagem. O processamento das imagens capturadas pelas câmeras torna possível a determinação das coordenadas dos objetos ou dedos que tocam na tela.

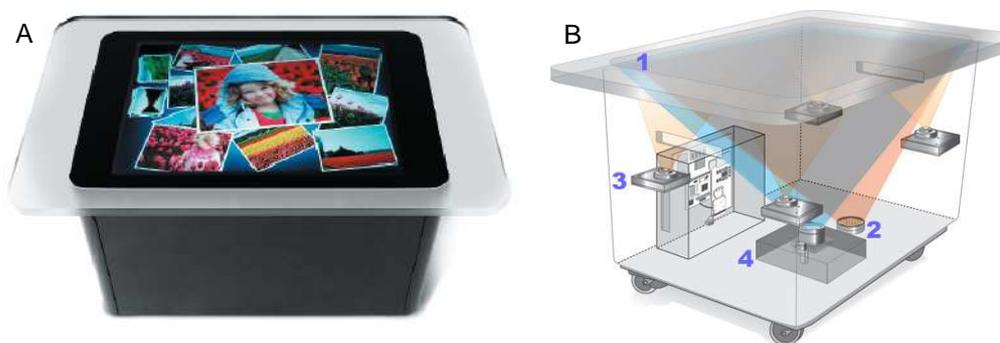


Figura 2.5 – Sistema *multitouch* baseado na iluminação difusa. O Microsoft Surface (A). Esquema do interior do sistema (B).

2.5 O sistema FTIR

O princípio da reflexão interna total confinada, ou FTIR (*frustrated total internal reflection*), para sistemas *multitouch*, foi proposto por Jeff Hann [35] no ano de 2005. O sistema era formado por uma tela de *back projection* (feita de uma placa de acrílico), com um conjunto de LEDs infravermelhos embutidos nas laterais da mesma (Figura 2.6). Com base no fenômeno do FTIR, quando um usuário encostava o dedo sobre a superfície da tela, a luz dos LEDs refletida no interior da placa é difundida na superfície de contato do dedo com a tela, sendo capturada por uma câmera localizada atrás da tela. Os aspectos operacionais e detalhes do funcionamento desse tipo de dispositivo constituem o foco central deste trabalho.



Figura 2.6 – Aspecto de uma imagem vista em um sistema *multitouch* baseado no princípio do FTIR.

2.5.1 Princípio de funcionamento do sistema FTIR

A Figura 2.7 mostra o princípio de funcionamento de um sistema *multitouch* baseado no FTIR. O sistema é constituído de uma placa de acrílico ou outro material translúcido que serve como uma guia de luz, iluminada por um conjunto de LEDs de luz infravermelha que são acoplados nas laterais da placa. A luz emitida pelos LEDs penetra na placa e, pelo fenômeno da reflexão interna total, parte da luz fica confinada no interior da mesma. Quando um objeto difuso, como um dedo, encosta na superfície da placa, ocorre o fenômeno do FTIR e parte da luz presente no interior da placa naquele ponto escapa da placa e ilumina o dedo. Devido às características ópticas da pele humana, aproximadamente 20% da luz que é refletida [21] é capturada por uma câmera sensível à luz infravermelha instalada atrás da placa. A imagem é processada

por um programa computacional que calcula as coordenadas do ponto da tela em que o usuário encostou o(s) dedo(s).

No caso da projeção de imagens sobre a tela do sistema *multitouch* para orientar os toques feitos pelos usuários na mesma, um material de projeção do tipo *back projection* é aplicado do lado oposto da placa que é sensível aos toques.

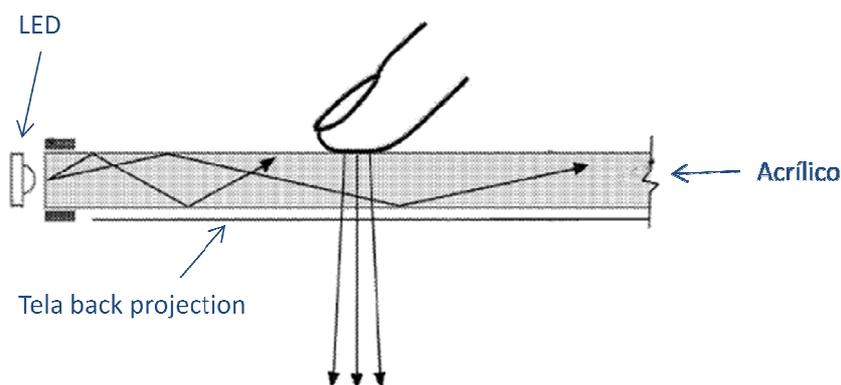


Figura 2.7 – Sistema *multitouch* FTIR básico.

Nessa configuração de sistema *multitouch*, o contato direto do dedo do usuário com a tela pode danificar a sua superfície ou deixar resíduos que fazem com que parte da luz refletida no seu interior seja perdida. Além disso, a resposta da tela depende das propriedades ópticas do objeto que está sendo detectado. Por exemplo, um copo de café pode não ser detectado se o contato do copo com a tela não interferir na reflexão interna total da luz no interior da placa. O uso de uma camada de acoplamento óptico, como mostrado na Figura 2.8, melhora a resposta do sistema. Uma camada de aproximadamente 1 mm de borracha transparente pode ser aplicada sobre a superfície do acrílico para esse fim.

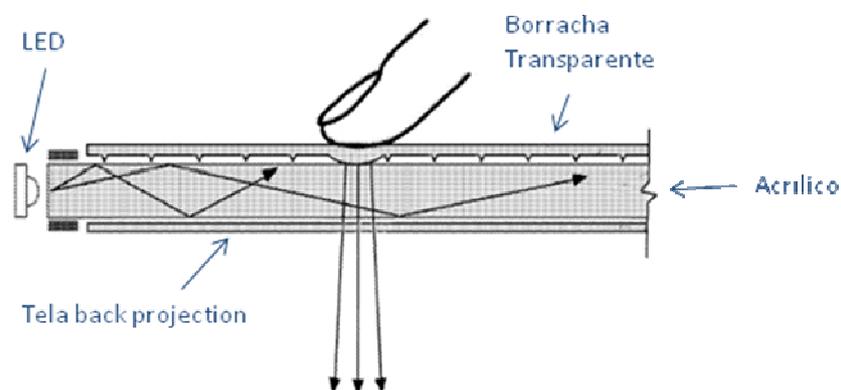


Figura 2.8 – Sistema *multitouch* com borracha transparente sobre a tela.

Uma desvantagem do uso de um material de *back projection* fixado na parte posterior da tela é que a luz formada pelos pontos de contato de um dedo com a tela é difundida ao passar pelo material de *back projection*, atenuando a intensidade da luz capturada pela câmera e desfocando as imagens.

A qualidade da imagem capturada pela câmera é melhorada quando é utilizado um material para acoplamento óptico feito de borracha opaca (Figura 2.9). As microtexturas existentes na borracha em contato com a placa de acrílico diminuem a área de contato da borracha com o acrílico e minimizam a perda de luz, que é difusa em decorrência do contato físico da borracha com a placa. Adicionalmente, como a borracha é parcialmente opaca, ela retém as imagens projetadas e elimina a necessidade do uso de uma camada extra de *back projection*.

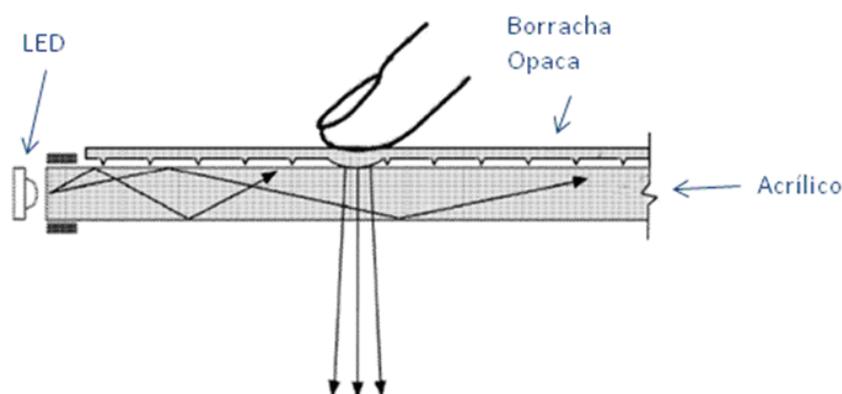


Figura 2.9 – Sistema *multitouch* com silicone texturizado opaco sobre a tela.

Com base nos dados publicados por Jeff Hann [22], são os seguintes os pré-requisitos para a escolha dos materiais que compõem a tela de um sistema *multitouch*:

- A resposta aos toques independa das qualidades ópticas do objeto que está sendo detectado;
- Permita o uso simultâneo de múltiplos usuários;
- A superfície de acoplamento óptico possa ser feita com filmes plásticos, incluindo vinil;
- Tenha uma superfície difusa para projeções opostas à superfície de contato (*back projection*);
- O uso de múltiplas camadas sobre o acrílico não afete nem a qualidade da imagem projetada nem a sensibilidade aos toques;

- O material utilizado para o acoplamento óptico sirva como a própria superfície de projeção.

Além disso, cada material que reveste o acrílico deve contribuir com uma ou mais das características desejáveis da tela:

- Seja eficaz ao FTIR;
- Exerça a função de um difusor óptico para a *back projection*;
- Filtre seletivamente o comprimento de onda infravermelha para minimizar a interferência de luz externa proveniente do meio ambiente;
- Seja tátil aos humanos e permita o movimento dos dedos sobre a tela com pouco atrito;
- Seja durável e possibilite a substituição da camada mais externa da tela, caso seja danificada ou aranhada com o uso;
- O acoplamento óptico dos materiais com a placa de acrílico ocorra apenas quando eles forem pressionados;
- E, quando for cessada a pressão do dedo sobre a tela, seja cessado o acoplamento óptico, evitando, dessa forma, rastro nas imagens capturadas pela câmera.

Um exemplo de uma tela composta de vários materiais que satisfazem as exigências acima mencionadas [22] inclui:

- Uma camada fina de borracha com micro-textura;
- Um filme fino de polietileno metalizado (impede a entrada de luz ambiente infravermelha no sistema);
- Uma camada fina de polietileno tratado quimicamente para resultar em uma superfície difusora, que propicie uma superfície adequada para a *back projection*, uma resposta tátil confortável, seja durável e possa ser facilmente substituída em caso de dano.