



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0407946-9 B1



(22) Data do Depósito: 26/02/2004

(45) Data de Concessão: 21/02/2017

(54) Título: LAMINADO RETROREFLEXIVO

(51) Int.Cl.: G02B 5/124; B29D 11/00

(30) Prioridade Unionista: 01/04/2003 US 10/404,265, 01/04/2003 US 10/404,890, 06/03/2003 US 60/452,464

(73) Titular(es): 3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY

(72) Inventor(es): KENNETH L. SMITH

“LAMINADO RETROREFLEXIVO”

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção é dirigida a uma lâmina compreendendo elementos de vértice de cubo, uma ferramenta compreendendo um conjunto 5 de lâminas e replicações delas, incluindo, em particular, laminado retrorreflexivo.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Os materiais retrorreflexivos são caracterizados pela capacidade de redirecionar luz incidente sobre o material de volta para a 10 fonte de luz de origem. Esta propriedade resultou no uso muito difundido de laminado retrorreflexivo, para uma variedade de usos de segurança de tráfego e pessoais. O laminado retrorreflexivo é comumente empregado em uma variedade de artigos, por exemplo, sinais de estrada, barricadas, placas de licença, marcadores de pavimento e fita de marcação, bem como fitas 15 retrorreflexivas para veículos e roupas.

Dois tipos conhecidos de laminado retrorreflexivo são laminado baseado em microsferas e laminado de vértices de cubo. O laminado baseado em microsferas, às vezes referido como laminado “perolado”, emprega uma multidão de microsferas, tipicamente pelo menos parcialmente 20 embutidas em uma camada aglutinante e tendo materiais reflexivos especulares ou difusos associados (p. ex., partículas de pigmento, flocos metálicos ou revestimentos de vapor etc.) para retrorrefletir a luz incidente. Devido à geometria simétrica dos retrorrefletores perolados, o laminado baseado em microsferas exibe o mesmo retorno de luz total, independente da 25 orientação, isto é, quando girado em torno de um eixo geométrico perpendicular à superfície do laminado. Assim, tal laminado baseado em microsferas tem uma sensibilidade relativamente baixa à orientação em que o

laminado é colocado em uma superfície. Em geral, entretanto, tal laminado tem uma eficiência retrorreflexiva mais baixa do que o laminado de vértices de cubo.

O laminado retrorreflexivo de vértices de cubo tipicamente
5 compreende uma camada transparente fina, tendo uma superfície frontal
substancialmente plana e uma superfície estruturada traseira compreendendo
uma pluralidade de estruturas geométricas, algumas ou das quais ou todas
incluindo três faces reflexivas configuradas como um elemento de vértice de
cubo.

10 O laminado retrorreflexivo de vértice de cubo é comumente
produzido manufaturando-se primeiro um molde mestre, que tem uma
superfície estruturada, tal superfície estruturada correspondendo à desejada
geometria de elemento de vértice de cubo do laminado acabado ou a uma sua
cópia negativa (invertida), dependendo de se o laminado acabado é para ter
15 pirâmides de vértice de cubo ou cavidades de vértice de cubo (ou ambas). O
molde é então replicado utilizando-se qualquer técnica adequada, tal como
eletroformação de níquel convencional, para produzir ornamentos para formar
laminado retrorreflexivo de vértice de cubo, por processos tais como
estampagem em relevo, extrusão ou moldagem-e-cura. A Patente U.S.
20 5.156.863 (Pricon e outros) provê um resumo ilustrativo de um processo
para formar ornamentos usados na manufatura de laminado retrorreflexivo de
vértice de cubo. Métodos conhecidos para manufaturar o molde mestre
incluem técnicas de formação de feixes de pinos, técnicas de usinagem direta
e técnicas que empregam lâminas.

25 Nas técnicas de formação de feixes de pinos, uma pluralidade
de pinos, cada uma tendo um formato geométrico, tal como um elemento de
vértice de cubo em uma extremidade, é montada entre si para formar um
molde mestre. As Patentes U.S. Nos. 1.591.572 (Stimson) e 3.926.402
(Heenan) fornecem exemplos ilustrativos. A formação de feixes de pinos

oferece a possibilidade de manufaturar uma larga variedade de geométricas de vértice de cubo em um único molde, porque cada pino é individualmente usinado. Entretanto, tais técnicas não são práticas para produzir pequenos elementos de vértice de cubo (p. ex., aqueles tendo uma altura de cubo menor
5 do que cera de 1 mm) por causa do grande número de pinos e de seu tamanho reduzido, necessários para serem precisamente usinados e então dispostos em um feixe, para formar o molde.

Nas técnicas de usinagem direta, uma série de sulcos é formada na superfície de um substrato plano (p. ex., placa metálica) para
10 formar um molde mestre, compreendendo elementos de vértice de cubo truncado. Em uma técnica bem conhecida, três conjuntos de sulcos paralelos intersectam-se em ângulos inclusos de 60 graus, para formar uma disposição de elementos de vértice de cubo, cada uma tendo um triângulo de base equilátero (vide Patente U.S. 3.712.706 (Stamm)). Em outra técnica, dois
15 conjuntos de sulcos intersectam-se em um ângulo maior do que 60 graus e um terceiro conjunto de sulcos intersecta cada um dos outros dois conjuntos em um ângulo menor do que 60 graus, pra formar uma disposição de pares iguais de elementos de vértice de cubo inclinados (vide Patente U.S. 4.588.258 (Hoopman)). Na usinagem direta, um grande número de faces individuais é
20 tipicamente formado ao longo do mesmo sulco formado por movimento contínuo de uma ferramenta de corte. Assim, tais faces individuais mantêm seu alinhamento por todo o procedimento de fabricação de molde. Por esta razão, técnicas de usinagem direta oferecem a possibilidade de precisamente usinar elementos de vértice de cubo muito pequenos. Uma desvantagem das
25 técnicas de usinagem direta, entretanto, tem sido a flexibilidade reduzida de projeto nos tipos de geometrias de vértice de cubo que podem ser produzidos que, por sua vez, afetam o retorno total da luz.

Nas técnicas que empregam lâminas, uma pluralidade de folhas finas (isto é, placas), referidas como lâminas tendo formatos

geométricos formados em uma borda longitudinal, são reunidas para formar um molde mestre. As técnicas que empregam lâminas são geralmente de mão de obra menos intensa do que as técnicas de formação de feixes de pinos, porque menos partes são separadamente usinadas. Por exemplo, uma lâmina 5 pode tipicamente ter cerca de 400 – 1000 elementos de vértice de cubo, em comparação com cada pino tendo somente um único elemento de vértice de cubo. Entretanto, as técnicas empregando lâminas têm menos flexibilidade de projeto, em comparação com aquela obtidível por formação de feixe de pinos. Exemplos ilustrativos de técnicas que empregam lâminas podem ser 10 encontrados na EP 0 844 056 A1 (Mimura e outros); Patente U.S. 6.015.214 (Heenan e outros); Patente U.S. 5.981.032 (Smith); e Patente U.S. 6.257.860 (Luttrell).

As bordas de base dos elementos de vértice de cubo, adjacentes de disposições de vértice de cubo truncado, são tipicamente 15 coplanares. Outras estruturas de elemento de vértice de cubo, descritas como “cubos completos” ou “elementos de vértice de cubo de geometria preferida (PG)”, tipicamente compreendem pelo menos duas bordas não-diédricas, que não são coplanares. Tais estruturas tipicamente exibem um retorno de luz total mais elevado, em comparação com elementos de vértice de cubo truncados. 20 Certos elementos de vértice de cubo PG podem ser fabricados via usinagem direta de uma seqüência de substratos, como descrito no WO 00/60385. Entretanto, é difícil manter a precisão geométrica com este processo de fabricação de multi-etapas. Restrições de projeto podem também ser evidentes nos resultantes elementos de vértice de cubo PG e/ou arranjo de elementos. 25 Ao contrário, a formação de feixe de pinos e as técnicas que empregam lâminas permitem a formação de uma variedade de formatos e arranjos de elementos de vértice de cubo PG. Diferente da formação de feixe de pinos, entretanto, as técnicas que empregam lâminas também provêem vantajosamente a possibilidade de formar elementos de vértice de cubo PG

relativamente menores.

O eixo geométrico de simetria de um vértice de cubo é um vetor que trissecta a estrutura, formando um ângulo igual com todas as três faces de cubo. Nos cubos truncados supracitados de Stamm, o eixo 5 geométrico de simetria é perpendicular ao triângulo de base equilátero e os cubos são considerados não terem inclinação. A nomenclatura “inclinação para a frente” ou “inclinação positiva” tem sido usada nas técnicas de vértice de cubo para descrever elementos de vértice de cubo truncados, chanfrados de uma maneira que aumenta somente um ângulo incluso de triângulo base em 10 relação a 60°. Ao contrário, a nomenclatura de “inclinação para trás” ou “inclinação negativa” tem sido usada nas técnicas de vértice de cubo para descrever elementos de vértice de cubo chanfrados de uma maneira que aumenta dois dos ângulos inclusos do triângulo base em relação a 60°. Vide Patentes U.S. Nos. 5.565.151 (Nilsen) e Patente U.S. 4.588.258 (Hoopman). 15 A inclinação dos elementos de vértice de cubo PG é descrita na Patente U.S. 6.015.214 (Heenan e outros).

Os elementos de vértice de cubo inclinados para trás ou para a frente aumenta a angularidade de entrada. Os elementos de vértice de cubo totais têm um retorno de luz total mais elevado do que os elementos de vértice 20 de cubo para um dado grau de inclinação, porém os cubos completos perdem o retorno de luz total mais rapidamente em baixos ângulos de entrada, sem substancial perda de desempenho em ângulos de entrada mais elevados.

Um método comum para melhorar a uniformidade do retorno 25 total de luz (TLR) com respeito à orientação é ladrilhagem, isto é, a colocação de uma multiplicidade de pequenas seções de ornamento em mais do que uma orientação na produção final, como descrito, por exemplo, na Patente U.S. 4.243.618 (Van Arnam), Patente U.S. 4.202.600; e Patente U.S. 5.936.770 (Nestegard e outros). A ladrilhagem pode ser visualmente desagradável. Além disso, a ladrilhagem aumenta o número de etapas de manufatura na produção

de ornamentos, empregadas para manufaturar o laminado.

Além de se referir ao TLR, o desempenho do laminado retrorreflexivo também refere-se à angularidade de observação ou perfil de divergência do laminado. Isto refere-se ao espalhamento da luz retrorrefletida em relação à fonte, isto é, tipicamente, faróis de veículo. O espalhamento da luz retrorrefletida pelos vértices de cubo é dominado por efeitos incluindo difração, polarização e não-ortogonalidade. Para este fim, é comum introduzirem-se erros de ângulo, tais como descritos na Tabela 1 da coluna 5 da Patente U.S. 5.138.488 (Szczech).

Similarmente, o Exemplo 1 da EP 0 844 056 A1 (Mimura) descreve um processo de corte giratório, em que os ângulos de base dos sulcos conformados em V, formados com uma ferramenta de corte de diamante, foram ligeiramente variados em ordem regular, três tipos de sulcos conformados em V simétricos tendo profundidades de 70,6 µm, 70,7 µm e 70,9 µm tendo sido sucessiva e repetidamente cortados em um passo de repetição de 141,4 µm, em uma direção perpendicular às superfícies principais das folhas. Assim, uma série de projeções conformadas em telhado, tendo três diferentes ângulos verticais de 89,9º, 90,0º e 91,0º, em um padrão de repetição, foram formados em uma borda das folhas.

Contudo, a técnica descreve uma variedade de projetos retrorreflexivos e seu desempenho retrorreflexivo medido ou calculado; a indústria encontra vantagem em laminado retrorreflexivo, tendo novos desenhos ópticos e métodos de manufatura de vértice de cubo, particularmente aquelas características que contribuem para melhorado desempenho e/ou melhoradas eficiências de manufatura.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Em uma forma de realização, a invenção descreve uma lâmina compreendendo elementos de vértice de cubo, tendo faces formadas de sulcos em que sulcos adjacentes variam de nominalmente paralelos a não-paralelos

em menos do que 1º. Os sulcos adjacentes têm ângulos inclusos, que diferem em pelo menos 2º. Em um aspecto, os ângulos inclusos dos sulcos são dispostos em um padrão repetitivo. Em outro aspecto, as faces dos elementos intersectam-se em uma altura de pico comum. Em ainda outro aspecto, os 5 sulcos têm planos bissectores, que variam de serem mutuamente nominalmente paralelos em menos do que 1º.

Em outra forma de realização, a invenção descreve uma lâmina compreendendo elementos de vértice de cubo de geometria preferida, em que pelo menos uma parte dos elementos de vértice de cubo é inclinada, 10 tendo um ângulo de alinhamento selecionado de ângulos de alinhamento entre 45º e 135º, ângulos de alinhamento entre 225º e 315º, e suas combinações. Preferivelmente, um primeiro elemento de vértice de cubo é inclinado, tendo um ângulo de alinhamento entre 60º e 120º e um segundo cubo adjacente é inclinado, tendo ângulos de alinhamento entre 240º e 300º. Além disso, o 15 ângulo de alinhamento do primeiro cubo preferivelmente difere de 0º ou 180º substancialmente no mesmo valor em que o ângulo de alinhamento do segundo cubo difere.

Em cada uma destas formas de realização, os elementos de vértice de cubo preferivelmente compreendem faces formadas alternando-se 20 os pares dos sulcos laterais. O ângulo incluso de cada par de sulcos laterais preferivelmente tem uma soma de substancialmente 180º. Além disso, o ângulo incluso de um primeiro sulco é preferivelmente maior do que 90º em um valor de pelo menos 5º (p. ex., cerca de 10º a cerca de 20º e o ângulo incluso de um segundo sulco adjacente é menor do que 90º em cerca do 25 mesmo valor.

Em outra forma de realização, a invenção descreve uma lâmina tendo um superfície microestruturada, compreendendo elementos de vértice de cubo tendo faces formadas de um conjunto de sulcos laterais, em que pelo menos dois sulcos dentro do conjunto não são paralelos por valores

variando de mais do que nominalmente paralelos a cerca de 1°. Os elementos preferivelmente compreendem erros de ângulo diédrico, tendo magnitudes entre 1 minuto de arco e 60 minutos de arco. Os erros de ângulo diédrico são preferivelmente dispostos em um padrão de repetição. Os sulcos 5 compreendem obliquidade e/ou inclinação que variam de sinal e/ou magnitude.

Em todas as formas de realização, os sulcos adjacentes são preferivelmente sulcos laterais. Além disso, cada um dos elementos preferivelmente tem uma face em um plano comum, que define uma face de 10 sulcos primários. Além disso, os elementos são elementos de vértice de cubo de geometria preferida.

Em outras formas de realização, a invenção descreve uma ferramenta mestre, compreendendo uma pluralidade de qualquer uma ou combinação de lâminas descritas. As lâminas são preferivelmente montadas 15 de modo que os elementos de vértice de cubo das lâminas adjacentes fiquem em orientações opostas. Os elementos preferivelmente têm um formato em vista em planta selecionado de trapezóides, retângulos, paralelogramos, pentágonos e hexágonos.

Em outras formas de realização, a invenção descreve réplicas 20 da ferramenta mestre, incluindo ornamentos multigeracionais e laminado retrorreflexivo. O laminado retrorreflexivo pode ser derivado das lâminas ou ter as mesmas características ópticas descritas com referência a uma lâmina. O laminado retrorreflexivo pode ter elementos de vértice de cubo, cavidades de vértice de cubo ou suas combinações.

25 Em consequência, em outras formas de realização, a invenção descreve laminado retrorreflexivo compreendendo uma fileira de elementos de vértice de cubo de geometria preferida, tendo faces definidas pelos sulcos, em que sulcos laterais variam de nominalmente paralelos a não-paralelos em menos do que 1° e têm ângulos inclusos que diferem em pelo menos 2°. Em

outras formas de realização, o laminado retrorreflexivo compreende uma fileira de elementos de vértice de cubo em que um primeiro elemento de vértice de cubo é chanfrado, tendo um ângulo de alinhamento entre 45º e 135º e um segundo cubo adjacente é chanfrado, tendo um ângulo de alinhamento 5 entre 225º e 315º. Em ainda outras formas de realização, o laminado retrorreflexivo compreende uma fileira de elementos de vértice de cubo de geometria preferida, tendo faces definidas por conjunto de sulcos laterais, em que pelo menos dois sulcos dentro do conjunto não são paralelos em valores variando de mais do que nominalmente paralelos a cerca de 1º. Em cada uma 10 destas formas de realização, o laminado preferivelmente compreende ainda os aspectos descritos com referência à lâmina ou lâminas.

Em outro aspecto, a invenção descreve laminado retrorreflexivo, compreendendo um par de fileiras adjacentes de elementos de vértice de cubo de geometria preferida, em que os elementos adjacentes de 15 uma fileira têm pelo menos uma borda diédrica que varia de nominalmente paralela a não paralela em menos do que 1º e em que o par de fileiras compreende pelo menos dois tipos de pares emparelhados.

Nas formas de realização, o laminado retrorreflexivo descrito tem melhoradas propriedades. Em uma forma de realização, o laminado 20 retrorreflexivo exibe um índice de uniformidade de pelo menos 1. Tal uniformidade pode ser obtida sem ladrilhagem em mais do que uma orientação. O índice de uniformidade é preferivelmente de pelo menos 3 e mais preferivelmente pelo menos 5. Em outras formas de realização preferidas, o laminado retrorreflexivo compreende uma disposição de 25 elementos de vértice de cubo de geometria preferida, que exibe um brilho médio em uma orientação de 0º e 90º, de acordo com a ASTM D4596-1a, de pelo menos 375 candelas/lux/m² para um ângulo de entrada de -4º e um ângulo de observação de 0,5º. Preferivelmente, o laminado exibe melhorado brilho em outros ângulos de observação também.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Fig. 1 é uma vista em perspectiva de uma única lâmina exemplificativa antes da formação dos elementos de vértice de cubo.

5 A Fig. 2 é uma vista extrema de uma única lâmina exemplificativa, em seguida à formação de um primeiro conjunto de sulcos.

A Fig. 3 é uma vista lateral de uma única lâmina exemplificativa, em seguida à formação de um primeiro conjunto de sulcos.

10 A Fig. 4 é uma vista de topo de uma única lâmina exemplificativa, em seguida à formação de um primeiro conjunto de sulcos e um segundo conjunto de sulcos.

A Fig. 5 é uma vista de topo de uma única lâmina exemplificativa, em seguida à formação de um primeiro conjunto de sulcos e face de sulcos primários.

15 A Fig. 6 é uma vista em planta de topo de uma montagem exemplificativa de quatro lâminas compreendendo um primeiro conjunto de sulcos e um terceiro sulco primário, em que os vértices de cubo foram chanfrados lateralmente.

20 A Fig. 7 é uma vista lateral representando os eixos geométricos de simetria de um par de cubos lateralmente chanfrados adjacentes de uma lâmina.

A Fig. 8 é uma vista em perspectiva de quatro lâminas em que os vértices de cubo foram chanfrados lateralmente.

25 A Fig. 9 é uma vista em perspectiva de quatro lâminas em que os vértices de cubo foram chanfrados lateralmente e as lâminas foram montadas em orientações opostas.

A Fig. 10a é uma representação de um elemento de vértice de cubo chanfrado para trás.

A Fig. 10b é uma representação de um elemento de vértice de cubo chanfrado lateralmente.

A Fig. 10c é uma representação de um elemento de vértice de cubo chanfrado para frente.

A Fig. 11 representa uma vista em planta de topo de uma montagem de lâminas em que os vértices de cubo foram chanfrados para a 5 frente em um plano perpendicular à borda da lâmina.

A Fig. 12 representa uma vista em planta de topo de uma montagem de lâminas em que os vértices de cubo foram chanfrados para trás em um plano perpendicular à borda da lâmina.

A Fig. 13 representa uma plotagem de iso-intensidade, 10 mostrando os contornos de retorno de luz predito para um par emparelhado de elementos de vértice de cubo consistindo de policarbonato, que foram chanfrados para a frente $9,74^\circ$.

A Fig. 14 representa uma plotagem de iso-intensidade, 15 mostrando os contornos de retorno de luz predito para um par emparelhado de elementos de vértice de cubo consistindo de policarbonato, que foram chanfrados para trás $7,74^\circ$.

A Fig. 15 representa uma plotagem de iso-intensidade, 20 mostrando os contornos de retorno de luz predito para duas lâminas opostas, que compreendem cubos de policarbonato que foram chanfrados lateralmente $4,41^\circ$.

A Fig. 16 representa uma plotagem de iso-intensidade, mostrando os contornos de retorno de luz predito para duas lâminas opostas, que compreendem cubos de policarbonato que foram chanfrados lateralmente 5,23°.

A Fig. 17 representa uma plotagem de iso-intensidade, 25 mostrando os contornos de retorno de luz predito para duas lâminas opostas, que compreendem cubos de policarbonato que foram chanfrados lateralmente $6,03^\circ$.

A Fig. 18 representa uma plotagem de iso-intensidade,

mostrando os contornos de retorno de luz predito para duas lâminas opostas, que compreendem cubos de policarbonato que foram chanfrados lateralmente 7,33º.

A Fig. 19 representa uma plotagem de iso-intensidade,
5 mostrando os contornos de retorno de luz predito para uma montagem de lâminas, que compreende cubos de policarbonato que foram chanfrados lateralmente 9,74º.

A Fig. 20 é uma plotagem de ângulo de alinhamento versus índice de uniformidade.

10 A Fig. 21 é uma vista em planta de topo de uma lâmina tendo sulcos laterais inclinados.

A Fig. 22 representa cada um dos ângulos diedros de um elemento de vértice de cubo representativo.

15 A Fig. 23 é uma vista lateral de um elemento de vértice de cubo de uma lâmina representando inclinação positiva e negativa.

A Fig. 24 é um diagrama de pontos para cubos que são chanfrados para trás em 7,47 graus com erros de ângulo do sulco primário variando de 2 a 10 minutos de arco.

20 A Fig. 25 representa um diagrama de pontos para cubos que são chanfrados para trás em 7,47 graus, com erros de ângulo dos sulcos laterais variando de 0 a 20 minutos de arco.

A Fig. 26 representa um diagrama de pontos para cubos que são chanfrados para trás em 7,47 graus, com uma combinação de erros de ângulo de sulco primário e sulco lateral.

25 A Fig. 27 representa um diagrama de pontos para cubos que são chanfrados para trás em 7,47 graus, em que os sulcos laterais compreendem uma inclinação constante de 7 minutos de arco, um erro de ângulo de sulco lateral de +1,5 minutos de arco e inclinação variada em um padrão repetitivo através de cada quatro sulcos.

A Fig. 28 representa um diagrama de pontos para cubos da mesma geometria que os da Fig. 29, exceto que a inclinação é de -7 minutos de arco, em vez de + 7 minutos de arco.

5 A Figura 29 representa um diagrama de pontos para a combinação da Fig. 27 e Fig. 28.

A Figura 30 comprehende os mesmos erros, obliquidades e inclinações de erro que os da Fig. 29, exceto que os cubos são chanfrados para a frente em 7,47 graus.

10 A Fig. 31 representa um diagrama de pontos para cubos que são lateralmente chanfrados em 6,02 graus, tendo várias obliquidades e inclinações.

15 Os desenhos, particularmente da lâmina(s), são ilustrativos e, assim, não necessariamente representativos do tamanho real. Por exemplo, o(s) desenho(s) podem ser uma lâmina aumentada ou parte aumentada de uma lâmina.

DESCRÍÇÃO DETALHADA DAS VERSÕES PREFERIDAS

A presente invenção refere-se a uma lâmina e lâminas compreendendo os elementos de vértice de cubo, uma ferramenta compreendendo uma montagem de lâminas e réplicas. A invenção refere-se 20 ainda a laminado retrorreflexivo.

O laminado retrorreflexivo é preferivelmente preparado de um molde mestre, manufaturado com uma técnica que emprega lâminas. Portanto, pelo menos uma parte e, preferivelmente, substancialmente todos os 25 elementos de vértice de cubo da lâmina(s) e laminado retrorreflexivo são cubos completos que não são truncados. Em um aspecto, a base dos elementos de cubos completos e, vista em planta não são triangulares. Em outro aspecto, as bordas não diédricas dos elementos de cubos completos são characteristicamente não todas no mesmo plano (isto é, não coplanares). Tais elementos de vértice de cubo são preferivelmente “elementos de vértice de

cubo de geometria preferida (PG)”.

Um elemento de vértice de cubo PG pode ser definido no contexto de uma superfície estruturada de elementos de vértice de cubo que se estende ao longo de um plano de referência. Para fins deste pedido, um 5 elemento de vértice de cubo PG significa um elemento de vértice de cubo que tem pelo menos uma borda não-diédrica que: (1) é não paralela ao plano de referência; e (2) é substancialmente paralela a uma borda não-diédrica adjacente de um elemento de vértice de cubo vizinho. Um elemento de vértice de cubo, cujas três faces reflexivas compreendem retângulos (inclusive de 10 quadrados), trapezóides ou pentágonos, são exemplos de elementos de vértice de cubo PG. “Plano de referência”, com respeito à definição de um elemento de vértice de cubo PG, refere-se a um plano ou outra superfície que se aproxime de um plano nas vizinhanças de um grupo de elementos de vértice de cubo adjacentes ou outras estruturas geométricas, os elementos de vértice 15 de cubo ou estruturas geométricas sendo dispostos ao longo do plano. No caso de uma única lâmina, o grupo de elementos de vértice de cubo adjacentes consiste de uma única fileira ou par de fileiras. No caso de lâminas montadas, o grupo de elementos de vértice de cubo adjacentes inclui os elementos de vértice de cubo de uma única lâmina e as lâminas contactantes adjacentes. No 20 caso de laminado, o grupo de elementos de vértice de cubo adjacentes geralmente cobre uma área que é discernível ao olho humano (p. ex., preferivelmente pelo menos 1 mm²) e preferivelmente as inteiras dimensões do laminado.

“Ângulo de entrada” refere-se ao ângulo entre o eixo 25 geométrico de referência (isto é, o vetor perpendicular à amostra retrorreflexiva) e o eixo geométrico da luz incidente.

“Orientação” refere-se ao ângulo através do qual a amostra pode ser girada em torno do eixo geométrico de referência da orientação de zero grau inicial de uma marca de referência.

Lâmina(s) refere(m)-se a pelo menos duas lâminas. "Lamina" refere-se a uma placa fina, tendo comprimento e altura de pelo menos cerca de 10 vezes sua espessura (preferivelmente pelo menos 100, 200, 300, 400, 500 vezes sua espessura). A invenção não é limitada a quaisquer dimensões particulares de lâmina(s). No caso de lâmina destinada para uso na manufatura de laminado retrorreflexivo, as dimensões ótimas podem ser restrinidas pelas exigências ópticas do projeto (p. ex., estruturas de vértice de cubo). Em geral, a lâmina tem uma espessura menor do que 0,25 polegadas (6,35 mm) e preferivelmente menor do que 0,125 polegadas (3,175 mm). A espessura da lâmina é preferivelmente menor do que cerca de 0,020 polegadas (0,508 mm) e, mais preferivelmente, menor do que cerca de 0,010 polegada (0,254 mm). Tipicamente, a espessura da lâmina é de pelo menos cerca de 0,001 polegada (0,0254 mm) e, mais preferivelmente, pelo menos cerca de 0,003 polegadas (0,0762 mm). A lâmina varia em comprimento de cerca de 1 polegada (25,4 mm) a cerca de 20 polegadas (50,8 cm) e é tipicamente menor do que 6 polegadas (15,24 cm). A altura da lâmina tipicamente varia de cerca de 0,5 polegada (12,7 mm) a cerca de 3 polegadas (7,62 cm) e é mais tipicamente menor do que cerca de 2 polegadas (5,08 cm).

Com referência às Figs. 1 – 8, a lâmina 10 inclui uma primeira superfície principal 12 e uma segunda superfície principal oposta 14. A lâmina 10 inclui ainda uma superfície de trabalho 16 e uma superfície de base oposta 18, estendendo-se entre a primeira superfície principal 12 e a segunda superfície principal 14. A lâmina 10 inclui ainda uma primeira superfície extrema 20 e uma segunda superfície extrema oposta 22. Em uma forma de realização preferida, a lâmina 10 é um poliedro retangular reto, em que as superfícies opostas são substancialmente paralelas. Entretanto, observamos que as superfícies opostas da lâmina 10 não precisam ser paralelas.

A lâmina 10 pode ser caracterizada por espaço tridimensional, superpondo-se um sistema de coordenadas Cartesianas sobre sua estrutura.

Um primeiro plano de referência 24 é centrado entre as superfícies principais 12 e 14. O primeiro plano de referência 24, referido como o plano x-z, tem o eixo geométrico-y como seu vetor perpendicular. Um segundo plano de referência 26, referido como o plano x-7, estende-se substancialmente 5 coplanar com a superfície de trabalho 16 da lâmina 10 e tem o eixo geométrico-z como seu vetor perpendicular. Um terceiro plano de referência 28, referido como o plano y-z, é centrado entre a primeira superfície extrema 20 e a segunda superfície extrema 22 e tem o eixo geométrico-x como seu vetor perpendicular. Para fins de clareza, vários atributos geométricos da 10 presente invenção serão descritos com referência aos planos de referência Cartesianos, como aqui exposto. Entretanto, observamos que tais atributos geométricos podem ser descritos utilizando-se outros sistemas de coordenada ou com referência à estrutura da lâmina.

A(s) lâmina(s) da presente invenção preferivelmente 15 compreende(m) elementos de vértice de cubo tendo faces formadas de e assim compreende(m) um primeiro conjunto de sulcos, um segundo conjunto de sulcos opcional e, preferivelmente, um terceiro sulco primário (p. ex., face de sulco primário).

As Figs. 2 - 9 ilustram uma superfície estruturada, 20 compreendendo uma pluralidade de elementos de vértice de cubo na superfície de trabalho 16 da lâmina 10. Em geral, um primeiro conjunto de sulcos, compreendendo pelo menos dois e, preferivelmente, uma pluralidade de sulcos 30a, 30b, 30c etc. (coletivamente referidos como 30), é formado na superfície de trabalho 16 da lâmina 10. Os sulcos 30 são formados de modo 25 que os respectivos vértices de sulco 33 e as respectivas primeiras bordas de referência 36 estendem-se ao longo de um eixo geométrico que intersecta a primeira superfície principal 12 e a superfície de trabalho 16 da lâmina 10. Embora a superfície de trabalho 16 da lâmina 10 possa incluir uma parte que permanece inalterada (isto é, não estruturada), prefere-se que a superfície de

trabalho 16 seja substancialmente livre de partes de superfície não estruturadas.

A direção de um sulco particular é definida por um vetor alinhado com o vértice de sulco. O vetor de direção de sulco pode ser definida 5 por seus componentes das direções x, y e z, o eixo geométrico-x sendo perpendicular ao plano de referência 28 e o eixo geométrico-y sendo perpendicular ao plano de referência 24. Por exemplo, a direção de sulco para o sulco 30b é definida por um vetor alinhado com o vértice de sulco 33b. É importante observar que os vértices de sulco podem parecer paralelos entre si 10 na vista em planta de topo, mesmo embora os sulcos não sejam paralelos (isto é, componente de direção-z diferente).

Como aqui usada, a expressão “conjunto de sulcos” refere-se aos sulcos formados na superfície de trabalho 16 da lâmina 10, que variam de nominalmente paralelos a não paralelos dentro de 1° para os sulcos adjacentes 15 no conjunto de sulcos. Como aqui usado, “sulco adjacente” refere-se ao sulco mais próximo, que é nominalmente paralelo ou não paralelo dentro de 1°. Alternativamente ou em adição, os sulcos de um conjunto de sulcos podem variar de nominalmente paralelos a não paralelos dentro de 1° aos planos de referência particulares, como será subsequentemente descrito. Portanto, cada 20 característica com respeito a um sulco individual e/ou aos sulcos de um conjunto de sulcos (p. ex., perpendicular, ângulo etc.) será entendida como tendo este mesmo grau de desvio potencial. Sulcos nominalmente paralelos são sulcos em que nenhuma variação proposital foi introduzida dentro do grau de precisão da máquina formadora de sulcos. Os sulcos do conjunto de sulcos 25 podem também compreender pequenas variações propositais para a finalidade de introduzir múltiplas não-ortogonalidades (MNO), tais como erros de ângulo incluso e/ou obliquidade e/ou inclinação, como será subsequentemente descrito em maiores detalhes.

Com referência às Figs. 3 – 9, um primeiro conjunto de sulcos

compreende os sulcos 30a, 30b, 30c etc. (coletivamente referidos pelo numeral de referência 30), que definem primeiras superfícies de sulco 32a, 32b, 32c etc. (coletivamente referidas como 32) e segundas superfícies de sulco 34b, 34c, 34d etc. (coletivamente referidas como 34), que se intersectam 5 nos vértices de sulco 33b, 33c, 33d etc. (coletivamente referidos como 33). Na borda da lâmina, a operação de formação de sulco pode formar uma única superfície de sulco 32a.

Em outra forma de realização representada na Fig. 4, a lâmina 10 pode opcionalmente compreender ainda um segundo conjunto de sulcos, 10 compreendendo pelo menos dois e preferivelmente uma pluralidade de sulcos adjacentes (coletivamente referidos como 38), também formados na superfície de trabalho 16 da lâmina 10. Nesta forma de realização, os primeiro e segundos conjuntos de sulco se intersectam aproximadamente ao longo de um primeiro plano de referência 24, para formar uma superfície estruturada, 15 incluindo uma pluralidade de picos alternativos e vales conformados em v. Alternativamente, os picos e vales conformados-v podem ser deslocados em relação entre si. Os sulcos 38 definem terceiras superfícies de sulco 40a, 40b etc. (coletivamente referidas como 40) e quartas superfícies de sulco 42b, 42c etc. (coletivamente referidos como 42), que se intersectam nos vértices de 20 sulco 41b, 41c etc. (coletivamente referidos como 41) como mostrado. Na borda da lâmina, a operação de formação de sulco pode formar uma única superfície de sulco 40a.

Tanto este primeiro como o segundo conjuntos de sulco podem 25 também ser referidos aqui como “sulcos laterais”. Como aqui usado, os sulcos laterais referem-se a um conjunto de sulcos em que o(s) sulco(s) variam de nominalmente paralelos a não paralelos a dentro de 1°, por seus respectivos vetores de direção, aos sulcos laterais adjacentes do conjunto de sulcos laterais. Alternativamente ou em adição, sulcos laterais referem-se a um sulco que varia de nominalmente paralelo ao plano de referência 28 a não paralelo

ao plano de referência 28 a dentro de 1°. Os sulcos laterais são tipicamente perpendiculares ao plano de referência 24 neste mesmo grau de desvio da vista em planta. Dependendo de se os sulcos laterais são nominalmente paralelos ou não-paralelos dentro de 1°, os elementos individuais do mestre montado replicado tipicamente têm os formatos de trapezóides, retângulos, paralelogramos, pentágonos e hexágonos, quando vistos em vista em planta com um microscópio ou medindo-se os ângulos diedros ou o paralelismo dos sulcos laterais com um interferômetro. Interferômetros adequados serão subsequentemente descritos.

10 Embora a terceira face dos elementos possa compreender a superfície de trabalho 12 ou 14, tal como descrito na EP 0 844 056 A1 (Mimura e outros), a lâmina preferivelmente comprehende uma face de sulco primário 50, que se estende substancialmente pelo comprimento total da lâmina. Independente de se a terceira face é uma superfície de trabalho (isto é, 15 12 ou 14) da lâmina ou uma face de sulco primário, a terceira face de cada elemento dentro de uma fileira preferivelmente compartilha de um plano comum. Com referência às Figs. 5 – 6 e 8 – 9, a face de sulco primário 50 varia de ser nominalmente perpendicular às faces 32, 34, 40 e 42 a não perpendicular a dentro de 1°. A formação da face de sulco primário 50 resulta 20 em uma superfície estruturada, que inclui uma pluralidade de elementos de vértice de cubo, tendo três faces ópticas perpendiculares ou aproximadamente perpendiculares sobre a lâmina. Uma única lâmina pode ter uma única face de sulco primário, um par de faces de sulco nos lados opostos e/ou um sulco primário ao longo da interseção da superfície de trabalho 16, com referência 25 ao plano 24 que concomitantemente provê um par de faces de sulco primário (p. ex., Fig. 4). O sulco primário é preferivelmente paralelo ao plano de referência 26 a dentro de 1°.

Um par de únicas lâminas com orientações opostas e, preferivelmente, múltiplas lâminas com orientações opostas, é tipicamente

montado dentro de uma ferramenta mestre, de modo que suas respectivas faces de sulco primário formem um sulco primário. Por exemplo, como representado nas Figs. 6 e 8 – 9, quatro lâminas (isto é, lâminas 100, 200, 300 e 400) são preferivelmente montadas de modo que um par sim um par não de 5 lâminas é posicionado em orientações opostas (isto é, os elementos de vértice de cubo da lâmina 100 ficam em orientação oposta aos elementos de vértice de cubo da lâmina 200 e os elementos de vértice de cubo da lâmina 300 ficam em orientação oposta com os elementos de vértice de cubo 400). Além disso, os pares de lâminas tendo orientação oposta são posicionados de modo que 10 suas respectivas faces de sulco primário 50 formem o sulco primário 52. Preferivelmente, as lâminas opostas são posicionadas em uma configuração (p. ex., 34b alinhado com 42b), a fim de minimizar a formação das paredes verticais.

Após a formação dos conjuntos de sulco, a superfície de 15 trabalho 16 é microestruturada. Como aqui usado, “microestruturada” refere-se a pelo menos uma superfície principal do laminado, compreendendo estruturas tendo uma dimensão lateral (p. ex., distância entre os vértices de sulco das estruturas de vértice de cubo) menor do que 0,25 polegada (6,35 mm), preferivelmente menor do que 0,125 polegadas (3,175 mm) e, mais 20 preferivelmente, menor do que 0,04 polegada (1 mm). A dimensão lateral dos elementos de vértice de cubo é preferivelmente menor do que 0,020 polegada (0,508 mm) e, mais preferivelmente, menor do que 0,007 polegada (0,1778 mm). Portanto, os respectivos vértices de sulco 33 e 41 são preferivelmente separados por esta mesma distância por todo o sulco que não as pequenas 25 variações resultantes dos sulcos não-paralelos. As microestruturas têm uma altura média variando de cerca de 0,001 polegada (0,0254 mm) a 0,010 polegada (0,254 mm), com uma altura menor do que 0,004 polegada (0,1016 mm) sendo mais típica. Além disso, a dimensão lateral de uma microestrutura de vértice de cubo é tipicamente de pelo menos 0,0005 polegada (0,0127

mm). As microestruturas de vértice de cubo podem compreender cavidades de vértice de cubo ou, preferivelmente, elementos de vértice de cubo tendo picos.

Em uma forma de realização, como representado na Fig. 3 – 9, a presente invenção refere-se a uma lâmina e lâminas compreendendo um conjunto de sulcos laterais, em que os sulcos adjacentes compreendem diferentes ângulos inclusos. “Ângulo inclusivo” refere-se ao ângulo formado entre as duas faces de um sulco conformado em V, que se intersectam no vértice de sulco. O ângulo inclusivo é tipicamente função da geometria da ferramenta de corte a diamante e de sua posição em relação à direção do corte. Em consequência, uma diferente ferramenta a diamante é tipicamente empregada para cada diferente ângulo inclusivo. Alternativamente, embora mais demorado, diferentes ângulos inclusos podem ser formados fazendo-se múltiplos cortes dentro do mesmo sulco. Os ângulos inclusos de um primeiro sulco (p. ex., sulco lateral) diferem dos de um sulco adjacente (p. ex., segundo sulco lateral) em pelo menos 2° (p. ex., 3°, 4°, 5°, 6°, 7°, 8°, 9°), preferivelmente pelo menos 10° (p. ex., 11°, 12°, 13°, 14°) e, mais preferivelmente, pelo menos 15° (p. ex., 16°, 17°, 18°, 19°, 20°). Portanto, a diferença do ângulo inclusivo é substancialmente maior do que as diferenças dos ângulos inclusos que surgem de erros de ângulo propositais, introduzidos para a finalidade de não-ortogonalidade. Além disso, a diferença dos ângulos inclusos é tipicamente menor do que 70° (p. ex., 65°, 60°, 50°), preferivelmente menor do que 55°, mais preferivelmente menor do que 50° e, mesmo mais preferivelmente, menor do que 40°.

Em um aspecto, os diferentes ângulos inclusos (p.ex., de sulcos laterais adjacentes) são dispostos em um padrão repetitivo, para minimizar o número de diferentes ferramentas de corte a diamante necessárias. Em tal forma de realização, a soma dos ângulos de sulco laterais adjacentes é de cerca de 180°. Em uma forma de realização preferida, a lâmina compreende um primeiro sub-conjunto de sulcos laterais tendo um

ângulo inclusos maior do que 90° , alternados com o segundo sub-conjunto de sulcos laterais, tendo um ângulo inclusos menor do que 90° . Ao assim proceder, o ângulo inclusos de um primeiro sulco é tipicamente maior do que 90° em um valor de pelo menos cerca de 5° e, preferivelmente, em um valor 5 variando de cerca de 10° a cerca de 20° ; enquanto que o ângulo inclusos do sulco adjacente é menor do que 90° em cerca do mesmo valor.

Embora a lâmina possa compreender ainda mais do que dois sub-conjuntos e/ou sulcos laterais tendo ângulos inclusos de nominalmente 90° , ela é preferivelmente substancialmente livre de sulcos laterais tendo um 10 ângulo inclusos de nominalmente 90° . Em uma forma de realização preferida, a lâmina compreende um par alternante de sulcos laterais (p. ex., $75,226^\circ$ e $104,774^\circ$) e, assim, somente necessita do uso de dois diferentes diamantes para formar a totalidade dos sulcos laterais. Por conseguinte, com referência às Figs. 6 – 9, sulcos laterais sim sulcos laterais não, isto é, 30a, 30c, 30e etc., 15 tendo um ângulo inclusos de $75,226^\circ$, alternam-se com os sulcos laterais restantes, isto é, 30b, 30d etc., tendo um ângulo inclusos de $104,774^\circ$. Como subseqüentemente será descrito com mais detalhes, empregando-se diferentes ângulos inclusos melhora-se, desta maneira, o índice de uniformidade.

Em outro aspecto, alternativamente ou em combinação com os 20 diferentes ângulos inclusos (p. ex., de sulcos laterais adjacentes) sendo dispostos em um padrão de repetição, os elementos de vértice de cubo resultantes têm faces que se intersectam em uma altura de pico comum, significando que os picos de cubo (p. ex., 36) estão dentro do mesmo plano dentro de 3 – 4 micross. Supõe-se que uma altura de pico comum contribua 25 para a melhorada durabilidade, quando manuseando-se os ornamentos ou laminado, distribuindo uniformemente a carga.

Alternativamente ou em sua combinação, a lâmina compreende elementos de vértice de cubo chanfrados lateralmente. Para os elementos de vértice de cubo que são unicamente chanfrados para a frente ou

para trás, os eixos geométricos de simetria são chanfrados ou inclinados em um plano de inclinação paralelo com referência ao plano 28. O plano inclinado para um elemento de vértice de cubo é o plano que é tanto perpendicular ao plano de referência 26 como contém o eixo geométrico de simetria do cubo. Portanto, o vetor perpendicular definindo o plano de inclinação tem um componente y de substancialmente zero para os elementos de vértice de cubo que são unicamente chanfrados para a frente ou para trás. No caso de elementos de vértice de cubo que são unicamente chanfrados lateralmente, os eixos geométricos de simetria dos cubos são inclinados em um plano que é substancialmente paralelo ao plano de referência 24 e, assim, o vetor perpendicular definindo o plano inclinado tem um componente x de substancialmente zero.

A projeção do eixo geométrico de simetria do plano x-y pode alternativamente ser usada para caracterizar a direção da inclinação. O eixo geométrico de simetria é definido como o vetor que trissecta as três faces de vértice de cubo formando um ângulo igual com cada uma destas três faces. As Figs. 10a – 10c representam três diferentes geometrias de vértice de cubo em vista em planta, que são unicamente chanfradas para trás, unicamente chanfradas lateralmente e unicamente chanfradas para a frente, respectivamente. Nestas figuras, o pico de cubo estende-se para fora da página e a projeção do eixo geométrico de simetria (estendendo-se para dentro da página a partir do pico de cubo) do plano x-y é mostrado pela seta. O ângulo de alinhamento é medido no sentido contrário ao de um relógio nesta vista, a partir da borda diédrica 11 (p. ex., diedros 2 – 3) que é aproximadamente perpendicular a um lado do cubo em vista em planta. No caso de chanfradura para trás, na ausência de chanfradura lateral, o ângulo de alinhamento é 0 grau, enquanto que, no caso de chanfradura para a frente, na ausência de chanfradura lateral, o ângulo de alinhamento é 180 graus. Para um cubo que foi chanfrado lateralmente na ausência de chanfradura para a

frente ou para trás, o ângulo de alinhamento é 90° (como mostrado na Fig. 10b) ou 270° . O ângulo de alinhamento é de 90° quando a projeção do eixo geométrico de simetria aponta para a direita (Fig. 10b) e 270° quando a projeção do eixo geométrico de simetria aponta para a esquerda.

5 Alternativamente, o cubo pode ser chanfrado de modo que o vetor perpendicular ao plano de inclinado compreenda tanto um componente-x como um componente-y (isto é, cada um do componente-x e componente-y não é igual a zero). Em um ângulo de alinhamento entre 0° e 45° ou entre 0° e 315° , o componente inclinado para trás é predominante com o componente
10 inclinado para trás e componente inclinado lateralmente sendo iguais a um ângulo de alinhamento de 45° ou 315° . Além disso, em um ângulo de alinhamento entre 135° e 225° , o componente inclinado para a frente é predominante, com o componente inclinado para a frente e componente inclinado lateralmente sendo iguais a 135° e 225° . Portanto, os planos
15 inclinados, compreendendo um componente inclinado lateralmente predominante, têm um ângulo de alinhamento entre 45° e 135° ou entre 225° e 315° . Em consequência, um elemento de vértice de cubo é predominantemente chanfrado lateralmente, quando o valor absoluto do componente-y, do vetor perpendicular ao plano inclinado, é maior do que o valor absoluto do componente-x, do vetor perpendicular ao plano inclinado.
20

Para formas de realização em que os cubos chanfrados lateralmente são formados de um par alternante de sulcos laterais, tendo diferentes cubos de ângulo inclusivo, em que o plano de inclinação é paralelo ao plano de referência 24, os cubos adjacentes, dentro de uma dada lâmina (p. ex., $\alpha-\beta$ ou $\alpha'-\beta'$), são chanfrados nos mesmos planos ou planos paralelos. Entretanto, em geral, se houver um componente x no vetor perpendicular ao plano inclinado, então os cubos adjacentes, dentro de uma lâmina particular, não são chanfrados no mesmo plano. Preferivelmente, os pares emparelhados de vértice de cubo são chanfrados nos mesmos planos ou planos paralelos

(isto é, $\alpha\text{-}\alpha'$ ou $\beta\text{-}\beta'$). Preferivelmente, os elementos de vértice de cubo de qualquer dada lâmina têm somente dois diferentes ângulos de alinhamento, p. ex., derivados de sulcos laterais adjacentes compreendendo diferentes ângulos inclusos. O ângulo de alinhamento para o exemplo de chanfradura lateral da Fig. 10b é 90° , correspondendo aos cubos $\beta\text{-}\beta'$ da Fig. 6. Similarmente, o ângulo de alinhamento para os cubos chanfrados lateralmente $\alpha\text{-}\alpha'$ da Fig. 6 é de 270° (não mostrado).

A Fig. 11 representa lâminas em que os cubos são chanfrados para a frente; enquanto que a Fig. 12 representa lâminas em que os cubos são chanfrados para trás. Os projetos de cubo chanfrados desta maneira resultam em um único tipo de pares de cubos opostos emparelhados. O cubo 54a da Fig. 11, com as faces 64a e 62b, é igual ao cubo 54b com faces 64b e 62c, que são iguais às do cubo 54c com faces 64c e 62d etc. Por conseguinte, todos os cubos dentro da mesma fileira são iguais, a fileira sendo paralela ao plano de referência 24. O cubo 54a é um par oposto emparelhado com o cubo 56a tendo faces 66e e 68d. Além disso, o cubo 54b é um par oposto emparelhado com o cubo 56b. Igualmente, o cubo 54c é um par oposto emparelhado com o cubo 56c. Similarmente, o cubo 57 da Fig. 12 é um par oposto emparelhado com o cubo 58. Pares emparelhados resultam quando rotação de 180° de um primeiro cubo em torno de um eixo geométrico perpendicular ao plano da superfície estruturada resulta em um cubo que é super-imposto sobre um segundo cubo. Os pares emparelhados não precisam necessariamente ser diretamente adjacentes ou contatar dentro do grupo de elementos de vértice de cubo. Os pares emparelhados tipicamente suprem desempenho retrorreflexivo, que é simétrico com respeito a mudanças positivas ou negativas do ângulo de entrada para orientações opostas.

Ao contrário, a chanfradura lateral resulta em um projeto de cubo compreendendo duas diferentes orientações de cubo, dentro da mesma fileira e, assim, criadas pelo mesmo conjunto de sulcos laterais. Para uma

única lâmina, compreendendo tanto o primeiro como o segundo conjunto de sulcos laterais ou um par de lâminas adjacentes montadas em orientações opostas, as lâminas compreendem quatro distintamente diferentes cubos e dois diferentes pares emparelhados, como representado nas Figs. 6, 8 – 9. Os 5 quatro distintamente diferentes cubos são identificados como cubos alfa (α) tendo as faces 32b e 34c, beta (β) tendo as faces 32c e 34d, alfa linha (α') tendo faces 40c e 42d e beta linha (β') tendo faces 40b e 42c. Os cubos (α , α') são um par emparelhado com a mesma geometria, quando girados 180°, de modo que as faces de cubo ficam paralelas, como o são os cubos (β , β').
 10 Além disso, os cubos das lâminas adjacentes (p. ex., 100 200) são configuradas em orientações opostas. Embora o eixo geométrico de simetria dos cubos seja inclinado lateralmente, o plano bissector dos sulcos laterais (isto é, o plano que divide o sulco em duas partes iguais) preferivelmente varia de nominalmente paralelo ao plano bissector de um sulco lateral
 15 adjacente (isto é, mutuamente paralelo) a não paralelo dentro de 1°. Além disso, cada plano bissector varia de ser nominalmente paralelo ao plano de referência 28 a ser não-paralelo ao plano de referência 28, dentro de 1°.

As Figs. 13 – 14 são gráficos de contorno de iso-brilho, ilustrando o retorno da luz total predita para um par emparelhado de elemento 20 de vértice de cubo retrorreflexivo, formado de um material tendo um índice de refração de 1,59, em ângulos de entrada e ângulos de orientação variáveis. Na figura 13, o par emparelhado é chanfrado para a frente 9,74° (p. ex., elementos de vértice de cubo 54, 56 da Fig. 11). Na Fig. 14, o par emparelhado é chanfrado para trás 7,47° (p. ex., elementos de vértice de cubo 25 57, 58 da Fig. 12). As Figs. 15 – 19 são gráficos de contorno de iso-brilho, ilustrando o retorno de luz total predita para as lâminas compreendendo os elementos de vértice de cubo retrorreflexivos, formados de um material tendo um índice refrativo de 1,59 em ângulos de entrada e ângulos de orientação variáveis, onde os elementos de vértice de cubo são chanfrados lateralmente

4,41°, 5,23 °, 6,03°, 7,33 ° e 9,74°, respectivamente para ângulos de alinhamento de 90° e 270°. Um par alternante de sulcos laterais (isto é 75,226° e 104,774°) é utilizado para a Fig. 17, para produzir elementos de vértice de cubo que são lateralmente chanfrados em 6,03°. As disposições chanfradas 5 lateralmente têm dois tipos de pares emparelhados, o $\beta-\beta'$ e $\alpha-\alpha'$, como representado na Fig. 6. Estes pares emparelhados têm ângulos de alinhamento de 90° e 270°, respectivamente. Em cada uma das Figs. 15 – 19, o gráfico de contorno de iso-brilho é para lâminas tendo a mesma orientação (isto é, vertical), como representado nas Figs. 6, 11 e 12.

10 O retorno de luz total predito para um par emparelhado de vértices de cubo pode ser calculado pelo conhecimento da área ativa e intensidade de raio percentuais. O retorno de luz total é definido como o produto da área ativa e intensidade de raio percentuais. O retorno de luz total, para disposições de vértices de cubo diretamente usinadas, é descrito por 15 Stamm, Patente U.S. 3.712.706.

Para uma intensidade de raio de luz unitária inicial, as perdas 20 podem resultar de duas transmissões de passagem através da superfície dianteira do laminado e pelas perdas de reflexão em cada uma das três superfícies de cubo. As perdas de transmissão de superfície dianteira para incidência quase perpendicular e um índice refrativo de folha de cerca de 1,59, são de aproximadamente 0,10 (aproximadamente transmissão 0,0). As perdas de reflexão, para cubos que foram reflexivamente revestidos, dependem, por exemplo, do tipo de revestimento e do ângulo de incidência 25 relativo à perpendicular da superfície de cubo. Coeficientes de reflexão típicos, para superfícies de cubo revestidas reflexivamente com alumínio, são de aproximadamente 0,85 a 0,9 em cada uma das superfícies de cubo. As perdas de reflexão, para cubos que baseiam-se na reflexão interna total, são essencialmente zero (essencialmente reflexão de 100%). Entretanto, se o ângulo de incidência de um raio de luz, relativa à perpendicular da superfície

de cubo, for menor do que o ângulo crítico, então a reflexão interna pode decompor-se e uma quantidade significativa de luz pode passar através da superfície de cubo. Ângulo crítico é função do índice refrativo do material de cubo e do índice do material atrás do cubo (tipicamente ar). Livros didáticos 5 sobre óptica padrões, tais como Hech, "Optics", 2a. Edição, Addison Wesley, 1987, explicam as perdas de transmissão de superfície dianteira e a reflexão interna total. A área eficaz para um único ou individual elemento de vértice de cubo pode ser determinada pela e é igual à interseção topológica da projeção das três superfícies de vértices de cubo em um plano perpendicular ao raio 10 incidente refrativo, com a projeção das superfícies de imagem da terceira reflexão no mesmo plano. Um procedimento para determinar a abertura eficaz é discutido, por exemplo, por Eckhardt, Applied Optics, v. 10, n. 7, julho 1971, págs. 1559 – 1566. Straubel, Patente U.S. 833.648, também examina a concepção da área ou abertura eficaz. A área ativa percentual para um único 15 elemento de vértice de cubo é então definida como a área efetiva dividida pela área total da projeção das superfícies de vértices de cubo. A área ativa percentual pode ser calculada utilizando-se técnicas de modelagem óptica conhecidas daqueles de habilidade comum nas técnicas ópticas ou pode ser determinada numericamente, utilizando-se técnicas de rastreamento de raios 20 convencionais. A área ativa percentual para uma disposição em pares emparelhados de vértices de cubo pode ser calculada pela média da área ativa percentual de dois elementos de vértice de cubo individuais do par emparelhado. Alternativamente, a abertura ativa percentual é igual à área de uma disposição de vértices de cubo que está retrorrefletindo luz, dividida pela 25 área total da disposição. A área percentual ativa é afetada, por exemplo, pela geometria cúbica, índice refrativo, ângulo de incidência e orientação do laminado.

Com referência à Fig. 13, o vetor V_1 representa o plano que é perpendicular ao plano de referência 26 e inclui os eixos geométricos de

simetria dos elementos de vértice de cubo 54, 56 da Fig. 11. Por exemplo, V_1 situa-se em um plano substancialmente perpendicular ao vértice de sulco primário 51, formado pela interseção das faces de sulco primárias 50. As curvas de iso-brilho concêntricas representam o retorno de luz total predito da disposição dos elementos de vértice de cubo 54, 56, em várias combinações de ângulos de entrada e ângulos de orientação. O movimento radial do centro da plotagem representa ângulos de entrada crescentes, enquanto o movimento circunferencial representa mudança da orientação do elemento de vértice de cubo com respeito à fonte de luz. A curva de iso-brilho mais interna demarca o conjunto de ângulos de entrada em que um par emparelhado de elementos de vértice de cubo 54, 56 exibem exibe 70% de retorno de luz total. As curvas de iso-brilho externas demarcam os ângulos de entrada e de orientação com percentagens sucessivamente mais baixas.

Um único par emparelhado de cubos chanfrados para a frente ou para trás tipicamente tem dois planos (isto é, V_1 e V_2) de larga angularidade de entrada, que são substancialmente perpendiculares entre si. A chanfradura para a frente resulta nos planos determinantes de angularidade de entrada serem horizontais e verticais, como mostrado na Fig. 3. A quantidade de luz retornada em ângulos de entrada mais elevados varia consideravelmente com a orientação e é particularmente baixo entre os planos de angularidade de melhor entrada. Similarmente, a chanfradura para trás resulta nos planos principais de angularidade de entrada (isto é, V_3 e V_4), orientados a aproximadamente 45° em relação à borda da lâmina, como mostrado na Fig. 14. Similarmente, a quantidade de luz retornada em ângulos de entrada mais elevados varia consideravelmente com a orientação e é particularmente baixo entre os planos de angularidade de melhor entrada. Mais ou menos do que dois planos de larga angularidade de entrada podem resultar, dependendo do grau de inclinação.

As Figs. 15 – 19 representam os contornos de iso-intensidade

de retorno de luz total (TRL) predito para um par de lâminas opostas, tendo cubos chanfrados lateralmente. O retorno de luz é mais uniforme como indicado pelo formato da plotagem aproximando-se de circular, em comparação com as plotagens de iso-intensidade de cubos chanfrados para a 5 frente e para trás das Figs. 13 e 14. As Figs. 15 – 19 representam retorno de luz substancialmente mais elevado nos locais de baixo retorno de luz, evidentes nas Figs. 13 e 14. Portanto, boa retenção de TLR, em ângulos de entrada mais elevados (até pelo menos entrada de 45°), é predito. Este desempenho melhorado de orientação é desejável para produtos de 10 sinalização, uma vez que os sinais são comumente posicionados em orientações de 0°, 45° e 90°. Antes da presente invenção, um método comum para melhorar a uniformidade do retorno de luz total, com respeito à orientação, foi ladrilhar, isto é, colocar uma multiplicidade de pequenas seções de ornamentos em mais do que uma orientação, tal como descrito, por 15 exemplo, na Patente U.S. 5.936.770. Disposições de vértices de cubo chanfradas lateralmente podem melhorar a uniformidade do retorno de luz total, sem necessidade de ladrilhagem e, assim, a disposição é substancialmente livre de ladrilhagem em mais do que uma orientação.

A fim de comparar a uniformidade do retorno de luz total 20 (TRL) de vários projetos ópticos, o TLR médio, nas orientações de 0°, 45° e 90°, podem ser dividido pela faixa de TLR nas orientações de 0°, 45° e 90°, isto é, a diferença entre os TLRs máximo e mínimos destes ângulos, todos em um ângulo de entrada fixo. O ângulo de entrada é preferivelmente de pelo menos 30° ou maior e, mais preferivelmente, de 40° ou maior. Projetos 25 preferidos exibem a relação máxima de TLR médio em relação à faixa de TLR. Esta relação, isto é, o “índice de uniformidade (UI)” foi calculado para um ângulo de entrada de (40°) para os cubos chanfrados para a frente e para trás das Figs. 13 e 14, respectivamente, bem como para os cubos chanfrados lateralmente, tendo vários graus de inclinação das Figs. 15 – 19. Para a Tabela

1, o espaçamento dos sulcos laterais é igual à espessura da lâmina (isto é, relação de alongamento = 1). O índice de uniformidade calculado é resumido na Tabela 1, como segue:

Tabela 1

	Para frente	Para trás	Lateralemente (ângulo de alinhamento = 90°)				
Grau de inclinação (minutos de arco)	9,74	7,47	4,41	5,23	6,03	7,33	9,74
TLR médio (0/45/90)	0,210	0,133	0,160	0,184	0,209	0,180	0,166
Faixa TLR (0/45/90)	0,294	0,154	0,090	0,023	0,034	~ 0.167	0.190
UI	1 0,71	0,87	1,79	8.02	6.23	1.08	0.88

$$\text{Índice de Uniformidade (UI)} = \frac{\text{TLR médio de } 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ}{\text{Faixa a } 0^\circ, 45^\circ \text{ e } 90^\circ}$$

5 Resulta em uniformidade de orientação melhorada, quando o índice de uniformidade é maior do que 1. Preferivelmente, o índice de uniformidade é maior do que 3 (p. ex., 4) e mais preferivelmente maior do que 5 (p. ex., 6, 7, 8). O índice de uniformidade variará em função de variáveis tais como geometria de cubo (p.ex., quantidade e tipo de inclinação, 10 tipo de cubo, formato de cubo em vista em planta, local do pico de cubo dentro da abertura, dimensões de cubo), ângulo de entrada e índice refrativo.

A Fig. 20 ilustra o índice de uniformidade plotado versus ângulo de alinhamento para disposições de vértice de cubo chanfrado com graus variáveis de inclinação e componentes x e y variáveis para seus vetores 15 perpendiculares ao plano de inclinação. As disposições têm dois tipos de pares emparelhados, similares aos $\beta-\beta'$ e $\alpha-\alpha'$, como representado na Fig. 6, embora estes cubos e/ou pares possam não ser mutuamente adjacentes. Os cubos de cada par emparelhado têm substancialmente o mesmo ângulo de alinhamento. Os ângulos de alinhamento para os dois tipos de pares 20 emparelhados diferem de 0° ou 180° pelo mesmo valor. Por exemplo, para um ângulo de alinhamento de 100° (diferindo de 180° em 80°) para um primeiro cubo do primeiro par emparelhado, o segundo (p. ex., adjacente) cubo ou segundo par emparelhado teria um ângulo de alinhamento de 260° (também

diferindo de 180° em 80°).

A Fig. 20 mostra que o TLR médio para policarbonato (tendo um índice de refração de 1,59), bem como o índice de uniformidade são maximizados para geometrias de cubo tendo um componente de chanfradura lateral predominante, isto é, a faixa aproximadamente centrada próximo dos ângulos de alinhamento de 90° e 270° . Observe-se que os ângulos de alinhamento entre 0° e 180° estão presentes no eixo geométrico X ou horizontal da Fig. 20, da esquerda para a direita.

Preferivelmente, o ângulo de alinhamento é maior do que 50°
 10 (p. ex., 51° , 52° , 53° , 54°), mais preferivelmente maior do que 55° (p. ex., 56° ,
 57° , 58° , 59°) e, mesmo mais preferivelmente, maior do que 60° . Além disso,
 o ângulo de alinhamento é preferivelmente menor do que 130° (p. ex., 129° ,
 128° , 127° , 126°) e, mais preferivelmente, menor do que 125° (p. ex., 124° ,
 123° , 122° , 121°) e, mesmo mais preferivelmente menor do que 120° .
 15 Igualmente, o ângulo de alinhamento é preferivelmente maior do que 230° (p.
 ex., 231° , 232° , 233° , 234°) e, mais preferivelmente, maior do que 235° (p. ex.,
 236° , 237° , 238° , 239°) e, mesmo mais preferivelmente, maior do que 240° .
 Ademais, o ângulo de alinhamento é preferivelmente menor do que 310° (p.
 ex., 309° , 308° , 307° , 306°) e, mais preferivelmente, menor do que 305° (p.
 20 ex., 304° , 303° , 302° , 301°) e, mesmo mais preferivelmente, menor do que 300°C .

O grau de inclinação dos eixos geométricos de simetria de cubo, relativos a um vetor perpendicular ao plano dos cubos, é de pelo menos 2° e, preferivelmente, maior do que 3° . Além disso, o grau de inclinação é preferivelmente menor do que 9° . Portanto, o grau mais preferido de inclinação varia de cerca de $3,5^\circ$ a cerca de $8,5^\circ$, incluindo qualquer intervalo tendo pontos extremos selecionados de $3,6^\circ$, $3,7^\circ$, $3,8^\circ$, $3,9^\circ$, $4,0^\circ$, $4,1^\circ$, $4,2^\circ$,
 $4,3^\circ$, $4,4^\circ$ e $4,5^\circ$, combinados com pontos extremos selecionados de $7,5^\circ$, $7,6^\circ$,
 $7,7^\circ$, $7,8^\circ$, $8,0^\circ$, $8,1^\circ$, $8,2^\circ$, $8,3^\circ$ e $8,4^\circ$. Geometrias de cubo que podem ser

empregadas para produzir estes valores diferentes de inclinação lateral são resumidos na Tabela 2. O ângulo de alinhamento pode ser de 90° ou 270° para cada valor de inclinação.

Tabela 2

Grau de inclinação (°)	Sulco lateral Subconjunto 1	Sulco lateral Subconjunto 2	Sulco lateral Subconjunto 1	Sulco lateral Subconjunto 2
	Semi ângulo (°)	1/2 ângulo (°)	Ângulo total (°)	Ângulo total (°)
4,41	39,591	50,409	79,182	100,818
5,23	38,591	51,409	77,182	102,818
6,03	37,613	52,387	75,226	104,774
7,33	36,009	53,991	72,018	107,982
9,74	33,046	56,954	66,092	113,908

- 5 Embora diferentes ângulos inclusos, sozinhos ou em combinação com a chanfradura lateral anteriormente descrita, fornecem uniformidade de brilho de TLR, com respeito a mudanças no ângulo de orientação em relação a uma faixa de ângulos de entrada, prefere-se também melhorar a angularidade de observação ou perfil de divergência do laminado.
- 10 Isto envolve melhorar a dispersão da luz retrorrefletida relativa à fonte (tipicamente, faróis de veículo). Como anteriormente descrito, a luz retrorrefletida pelos vértices de cubo espalha-se devido a efeitos tais como difração (controlada pelo tamanho do cubo), polarização (importante em cubos que não foram revestidos com um refletor especular) e não-ortogonalidade (desvio dos ângulos diedros dos vértices de cubo de 90° em valores menores do que 1°). A dispersão da luz, devido à não-ortogonalidade, é particularmente importante em (p. ex., PG) cubos produzidos utilizando-se lâminas, visto que lâminas relativamente finas seriam necessárias para fabricar cubos em que a dispersão da luz de retorno foi dominada por difração. Tais lâminas finas são particularmente de difícil manuseio durante a fabricação.
- 15
- 20

Alternativamente ou em adição aos aspectos anteriormente descritos em outra forma de realização, a presente invenção refere-se a uma lâmina individual, uma ferramenta mestre compreendendo as lâminas

montadas, bem como suas réplicas, incluindo réplicas retrorreflexivas, compreendendo sulcos laterais em que os sulcos laterais compreendem “obliquidade” e/ou “inclinação”. A obliquidade e/ou inclinação provê(m) cubos com uma variedade de erros de ângulo diédrico controlados ou múltipla 5 não-ortogonalidade (MNO) e, assim, melhora o perfil de divergência do produto acabado. Como aqui usado “obliquidade” refere-se ao desvio da paralela com referência ao plano de referência 28.

A Fig. 21 mostra um exemplo exagerado em vista em planta de uma única lâmina com uma fileira de elementos de vértice de cubo 10 compreendendo sulcos oblíquos. Os sulcos laterais 80a e 80b são cortados com obliquidade positiva, os sulcos 80c e 80e sem obliquidade, e o sulco 80d com obliquidade negativa. O trajeto dos sulcos laterais 80 foi estendido na Fig. 21 para clareza. Desde que os sulcos laterais 80a, 80c e 80e tenham o mesmo ângulo inclusivo (p.ex., 75°, primeiro subconjunto de sulcos), a mesma ferramenta de corte ou diamante pode ser usado para formar todos estes 15 sulcos. Além disso, se os sulcos alternantes, isto é, 80b e 80d tiverem o mesmo ângulo inclusivo (p. ex., 105°, segundo subconjunto de sulcos), 80b e 80d podem ser cortados com um segundo diamante. A face de sulcos primários 50 pode também ser cortada com um destes diamantes, se o semi- 20 ângulo de sulco primário estiver suficientemente próxima do semi ângulo de sulco lateral dos primeiro ou segundo subconjuntos. Opcionalmente, uma das ferramentas de corte pode ser girada durante o corte da face de sulcos primários, a fim de obter-se o correto semi-ângulo de sulco primário. A face de sulcos primários é preferivelmente alinhada com o lado da lâmina. Assim, 25 a inteira lâmina pode ser cortada incorporando MNO, com o uso de somente dois diamantes. Dentro de cada conjunto de sulcos a obliquidade pode ser facilmente variada durante a usinagem, para produzir uma faixa de ângulos diedros. Os vértices de cubo, em geral, têm três ângulos diedros atribuídos às interseções das três faces de cubo. O desvio destes ângulos de 90° é

comumente denominado erro de ângulo diédrico e pode ser designado por diedro 1-2, diedro 1-3 e diedro 2-3. Em uma convenção de designação, como representado na Fig. 22, o ângulo diedro cúbico 1-3 é formado pela interseção da superfície de sulco 82 com a face de sulco primário 50, diedro cúbico 1-2 5 sendo formado pela interseção da superfície de sulco 84 com a face de sulco primário 50, e o diedro cúbico 2-3 é formado pela interseção da superfície de sulco 84 com a superfície de sulco 82. Alternativamente, a mesma convenção de designação pode ser empregada, em que a terceira face é a superfície de trabalho 12 ou 14, em vez de uma face de sulco primário. Para um dado sulco, 10 a obliquidade positiva (80a, 80b) resulta na diminuição do diedro 1-3 e aumento do diedro 1-2, enquanto a obliquidade negativa resulta em aumento do diedro 1-3 e diminuição do diedro 1-2.

Por exemplo, com referência à Fig. 21, quatro diferentes cubos são formados. O primeiro cubo 86a tem superfícies de sulco (isto é, faces) o 15 segundo cubo 86b superfícies de sulco 82b e 84c, o terceiro cubo 86c superfícies de sulco 82c e 84d e o quarto cubo 86d superfícies de cubo 82d e 84e. As interseções das superfícies de sulco 82a, 82b e 84d com a face de sulco 50 são menores do que 90°, enquanto que as interseções das superfícies de sulco 84b e 82d com a face de sulco 50 são maiores do que 90°. As 20 interseções das superfícies de sulco 82c, 84c e 84e com a face de sulco 50 são de 90°, uma vez que os sulcos 80c e 80e não têm obliquidade. O exame precedente presume que a inclinação (como será subsequentemente definido) é a mesma para todos os sulcos laterais da Fig. 21 e igual a zero. Os 25 elementos de vértice de cubo (p. ex., PG) são trapezóides ou paralelogramos em formato de vista em planta, como resultado da utilização de sulcos oblíquos durante a usinagem.

Alternativamente ou em adição aos aspectos anteriormente descritos, os sulcos laterais podem compreender inclinação positiva ou negativa. “Inclinação” refere-se ao desvio de declive do plano de referência

28 de um particular sulco lateral do declive ortogonal nominal (isto é, o declive do vetor perpendicular à superfície de sulco primário). A direção de um sulco lateral é definida por um vetor alinhado com o vértice de dito sulco. A declividade ortogonal é definida como a declividade em que o vértice 90 de
 5 um sulco é paralelo ao vetor perpendicular da face de sulco 50 (perpendicular à face de sulco 50) para obliquidade igual a zero. Em uma possível convenção de designação, a inclinação positiva 92 resulta na diminuição tanto do diedro 1-3 como diedro 1-2 para um dado sulco lateral, enquanto a inclinação negativa 94 resulta em aumento tanto do diedro 1-3 como diedro 1-2.

10 Combinando-se obliquidade e/ou inclinação durante a usinagem provê-se significativa flexibilidade na variação dos erros de ângulo diédrico dos elementos de vértice de cubo em uma dada lâmina. Tal flexibilidade é dependente do chanfro. Portanto, a obliquidade e/ou inclinação podem ser empregadas com cubos não chanfrados, cubos chanfrados para a frente, cubos chanfrados para trás, bem como cubos chanfrados lateralmente.
 15 O uso de obliquidade e/ou inclinação provê uma vantagem distinta, visto que ela pode ser introduzida durante a usinagem de lâmina individual, sem mudar a ferramenta (p. ex., diamante) usada para cortar os lados dos sulcos. Isto pode significativamente reduzir o tempo de usinagem, visto que leva horas para corretamente ajustar os ângulos após uma mudança de ferramenta. Além disso, o diedro 1-2 e diedro 1-3 podem ser variados em oposição, utilizando-se obliquidade e/ou inclinação. “Variados em oposição”, como aqui empregado, é definido com intencionalmente provendo erros (diferenças de 90°), dentro de um dado vértice de cubo de uma lâmina de diedro 1-2 e 1-3,
 20 que diferem em magnitude e/ou sinal. A diferença de magnitude é tipicamente de pelo menos $\frac{1}{4}$ minuto de arco, mais preferivelmente pelo menos $\frac{1}{2}$ minuto de arco e, muitíssimo preferivelmente, pelo menos 1 minuto de arco. Em consequência, os sulcos não são paralelos em valor maior do que nominalmente paralelo. Além disso, a obliquidade e/ou inclinação é tal que a
 25

magnitude não é mais do que cerca de 1° (isto é, 60 minutos de arco). Além disso, os sulcos (p. ex., laterais) podem compreender uma variedade de diferentes componentes de obliquidade e/ou inclinação ao longo de uma única lâmina.

5 Os erros de ângulo diédrico podem também ser variados mudando-se os semi ângulos dos sulcos primários ou laterais, durante a usinagem. Semi-ângulo para sulcos laterais é definido como o ângulo agudo formado pela face de sulco e um plano perpendicular ao plano de referência 26, que contém o vértice de sulco. Semi ângulo para os sulcos primários ou
 10 faces de sulco é definido como o ângulo agudo formado pela face de sulco e o plano de referência 24. Mudando-se o semi-ângulo para o sulco primário resulta em uma mudança de declive de face de sulco 50, via rotação em torno do eixo geométrico-x. A mudança do semi ângulo de um sulco lateral pode ser realizada via mudando-se o ângulo incluso do sulco (o ângulo formado
 15 opondo-se as faces de sulco, p. ex., 82c e 84c) ou girando-se um sulco em torno de seu vértice. Por exemplo, a mudança da ângulo da face de sulco primário 50 aumentará ou diminuirá todos os erros do diedro 1-2 e diedro 1-3 ao longo de uma dada lâmina. Isto contrasta com mudanças de inclinação onde os erros do diedro 1-2 e diedro 1-3 podem ser variados diferentemente
 20 em cada sulco ao longo de uma dada lâmina. Similarmente, o semi ângulo para os sulcos laterais pode variar, resultando em uma correspondente mudança do diedro 2-3. Observe-se que para os sulcos laterais que são ortogonais ou quase ortogonais (dentro de cerca de 1°) à face de sulco primário, o diedro 1-2 e diedro 1-3 são muito insensíveis a mudanças do semi
 25 ângulo de sulco lateral. Como resultado, variando-se os semi ângulos dos sulcos primários ou laterais, durante a usinagem, não permitirá que o diedro 1-2 e diedro 1-3 variem em oposição dentro de um dado vértice de cubo. A variação dos semi ângulos dos sulcos primários ou laterais durante a usinagem pode ser usada em combinação com a obliquidade e/ou inclinação

para prover o mais amplo controle possível sobre os erros de ângulo diédrico de vértice de cubo, com um número mínimo de mudanças de ferramenta. Embora a magnitude de qualquer um dos erros, obliquidade ou inclinação de semi ângulo possa variar até cerca de 1° , cumulativamente pra qualquer dado 5 cubo, o erro de ângulo diédrico resultante não é mais do que cerca de 1° .

Para simplicidade durante a fabricação, obliquidade e/ou inclinação são preferivelmente introduzidas, de modo que os erros de ângulo diédrico são dispostos em padrões. Preferivelmente, o padrão compreende erros de ângulo diédrico 1-2 e 1-3, que são variados em oposição dentro de 10 um dado vértice de cubo.

Os diagramas de pontos são um método útil, baseado em óptica geométrica de ilustração da dispersão da luz retrorrefletida, resultante da não-ortogonalidade de uma disposição de vértice de cubo. Os vértices de cubo são sabidos dividirem os raios de luz entrante em até seis pontos de 15 retorno distintos, associados com as seis possíveis seqüências para um raio refletir-se das três faces de cubo. Na dispersão radial dos pontos de retorno do feixe de fonte, bem como a posição circunferencial em torno do feixe de fonte, podem ser calculadas uma vez os três erros diedros de cubo sejam definidos (vide, p. ex., Eckhardt, "Simple Model of Cube Corner Reflection", 20 Applied Optics, V10, N7, Julho de 1971). A dispersão radial dos pontos de retorno é relacionada com o ângulo de observação, enquanto a posição circunferencial dos pontos de retorno é relacionada com o ângulo de apresentação, como mais descrito na US Federal Test Method Standard 370 (Março 1, 1977). Um vértice de cubo não-ortogonal pode ser definido pelos 25 vetores perpendiculares à superfície de suas três faces. As posições de pontos de retorno são determinadas rastreando-se seqüencialmente um raio quando ele choca-se com e reflete de cada uma das três faces de cubo. Se o índice refrativo do material de cubo for maior do que 1, então a refração para dentro e fora da cubo de superfície dianteira deve também ser levada em conta.

Numerosos autores descreveram as equações relacionadas com a reflexão e refração de superfície dianteira (p. ex., Hecht e Zajac, "Optics", 2a. edição, Addison Wesley 1987). Observe-se que os diagramas de pontos são baseados na óptica geométrica e, em consequência, omitem a difração. Portanto, o 5 tamanho e formato de cubo não são considerados nos diagramas de pontos.

O diagrama de pontos de retorno, para cinco diferentes cubos que são chanfrados para trás em 7,47 graus (p.ex., Fig. 12), com erros no semi ângulo de sulco primário de cinco sulcos consecutivos de +2, +4, +6, +8 e +10 minutos de arco, é representado na Fig. 24. Os erros de semi ângulo para 10 os sulcos laterais são zero (diedro 2-3 = 0) neste exemplo, como o são a obliquidade e inclinação. Todos os ângulos inclusos de sulco lateral são de 90°. Os eixos geométricos vertical e horizontal da Fig. 24 correspondem aos 15 planos de referência 28 e 24, respectivamente. Observe-se que as mudanças da declividade da face de sulco primário resulta em pontos de retorno localizados principalmente ao longo dos eixos geométricos vertical e horizontal.

Os erros diedros, em função dos erros de semi ângulo de sulco primário, são apresentados na Tabela 3, para os mesmos erros usados para produzir a Fig. 24. Observe-se que o diedro 1-2 e diedro 1-3 têm as mesmas magnitude e sinal e, assim, não variam em oposição. 20

Tabela 3

Erro Sulco Primário (minutos de arco)	Diedro 1-2 (minutos de arco)	Diedro 2-3 (minutos de arco)	Diedro 1-3 (minutos de arco)
2	1,4	0,0	1,4
4	2,8	0,0	2,8
6	4,2	0,0	4,2
8	5,7	0,0	5,7
10	7,1	0,0	7,1

O diagrama de pontos de retorno, para o mesmo tipo de cubos chanfrados para trás, com erros diedros 2-3 de -20, -15, -10, -5 e 0 minutos de arco, é representado na Fig. 25. Os erros de semi ângulo para o sulco primário 25 são zero (diedro 1-3 = diedro 1-2 = 0) neste exemplo, como o são a

obliquidade e inclinação. Como dito anteriormente, variações nos semi ângulos para os sulcos laterais podem ser usadas para produzir os erros diedros 2-3. Os erros diedros 2-3 resultam em pontos de retorno, localizados principalmente ao longo do eixo geométrico horizontal.

5 A Fig. 26 representa um diagrama de pontos de retorno, resultantes da combinação de erros de semi ângulo de sulco primário com variações dos semi ângulos para os sulcos laterais, para o mesmo tipo de cubos chanfrados para trás, como descrito com referência às Figs. 24 – 25. Neste exemplo, o erro de semi ângulo de sulco primário é 10 minutos de arco, 10 enquanto o erro de diedro 2-3 é 0, 2, 4 e 6 minutos de arco, respectivamente, para quatro diferentes cubos adjacentes da lâmina. Um erro de ângulo inclusivo constante de +3 minutos de arco poderia ser usado para produzir estes sulcos laterais, com os erros de semi ângulo opostos, como mostrado na Tabela 4. Os pontos de retorno são novamente localizados principalmente ao longo dos 15 eixos geométricos vertical e horizontal, com alguma dispersão no plano horizontal, devido aos valores não-zero para diedro 2-3. Além de tudo, o diagrama de pontos de retorno é localizado e não-uniforme.

Os erros diedros, em função dos erros de semi ângulo de sulco primário, são apresentados na Tabela 4 para os erros usados para produzir a 20 Fig. 26. Observe-se que o diedro 1-2 e diedro 1-3 têm os mesmos magnitude e sinal e, em consequência, não variam em oposição (isto é, são substancialmente livres de variação em oposição). Observe-se que um dado vértice de cubo é formado por dois sulcos laterais adjacentes e, preferivelmente, uma superfície de sulco primário. O sulco lateral superior da 25 Fig. 22 forma o diedro 1-3, enquanto o sulco lateral inferior forma o diedro 1-2. A interseção dos sulcos laterais superiores e inferiores forma o diedro 2-3. O ângulo inclusivo de sulco lateral é a soma dos erros de semi ângulo superior e inferior para um sulco que forma cubos adjacentes (p. ex., com referência à Tabela 4 do ângulo inclusivo total é +3 minutos de arco e resulta da adição do

semi ângulo superior de um primeiro cubo com o semi ângulo inferior do cubo adjacente).

Tabela 4

Cubo No.	Diedro 1-2 (minutos de arco)	Diedro 2-3 (minutos de arco)	Diedro 1-3 (minutos de arco)	Erro de Semi Ângulo Inferior (minutos de arco)	Erro de Semi Ângulo Superior (minutos de arco)
1	7,1	4,0	7,1	3	1
2	7,1	6,0	7,1	2	4
3	7,1	2,0	7,1	-1	3
4	7,1	0,0	7,1	0	0

Os exemplos precedentes (isto é, Figs. 24 – 26) foram para 5 cubos chanfrados para trás, com erros de semi ângulo variáveis. Em uma maneira análoga, os cubos chanfrados para a frente podem ser mostrados terem diagramas de pontos de retorno qualitativamente similares, isto é, substancialmente não-uniformes, com pontos localizados especialmente ao longo dos eixos geométricos horizontal e vertical. O diedro 1-2 e diedro 1-3 10 dos cubos chanfrados para a frente também terão as mesmas magnitude e sinal e, assim, são substancialmente livres de variação em oposição. Na consideração dos usos de laminado retrorreflexivo de vértice de cubo, é evidente que diagramas de ponto localizados, não uniformes (p.ex., Figs. 24 – 15 26), são geralmente indesejáveis. O laminado pode ser colocado nos sinais em uma larga variedade de orientações, tanto como cor de segundo plano, bem como, em alguns casos, como letras de recorte. Além disso, os sinais podem tipicamente ser posicionados na direita, na esquerda ou acima da estrada. No caso de veículos marcados com laminado retrorreflexivo para conspicuidade, a posição do veículo em relação ao visor está constantemente mudando. Tanto 20 os faróis esquerdo como direito de um veículo ilumina um alvo retrorreflexivo e a posição do motorista é muito diferente com respeito a estes faróis (diferindo os ângulos de observação e de apresentação). Veículos tais como motocicletas, em que o motorista está diretamente acima do farol, são comumente usados. Finalmente, todos os ângulos pertinentes, definindo a 25 geometria de visualização, mudam com a distância do motorista/observador

para o laminado ou alvo retrorreflexivo. Todos estes fatores tornam claro que uma dispersão relativamente uniforme de pontos de retorno é altamente desejável no laminado retrorreflexivo. Por causa da flexibilidade de facilmente introduzir uma larga faixa de erros de ângulo diédrico, incluindo 5 diedro 1-2 e diedro 1-3, que variam em oposição, obliquidade e/ou inclinação podem ser utilizados para prover um diagrama de retorno de pontos relativamente uniforme.

A Fig. 27 apresenta um diagrama de pontos de retorno resultante de variações em somente inclinação de uma única lâmina com os 10 mesmos cubos chanfrados para trás usados nas Figs. 24 – 26. Erros de semi ângulo para os sulcos laterais são +1,5 minutos de arco em cada lado (diedro 2-3 e erro de ângulo de sulco lateral de +3 minutos de arco) e o erro de sulco primário é zero. A obliquidade é constante neste exemplo em +7 minutos de arco. A inclinação é variada em um padrão repetitivo em cada quatro sulcos 15 (isto é, dois sulcos de +5 minutos de arco, em seguida dois sulcos de -1 minuto de arco). O padrão de pontos é muito mais uniformemente distribuídos tanto radial (observação) como circunferencialmente (apresentação), em comparação com as Figuras. 24 – 26.

Os erros diedros para este exemplo de inclinação variável são 20 apresentados na Tabela 5. A ordem de usinagem das inclinações (minutos de arco) é -1, +5, +5, -1, em um padrão repetitivo. Por exemplo, com referência ao cubo no. 1, o primeiro sulco lateral tem uma inclinação de -1 e o segundo sulco lateral tem uma inclinação de +5. Observe-se que o diedro 1-2 e diedro 1-3 variam em oposição com diferentes magnitudes (os valores absolutos dos 25 erros de ângulo diédrico são desiguais) e sinais.

Tabela 5

Cubo No.	Inclinação (minutos de arco)	Diedro 1-2 (minutos de arco)	Diedro 3-2 (minutos de arco)	Diedro 1-3 (minutos de arco)
1	-1, 5	5,1	3,0	-7,9
2	5, 5	0,8	3,0	-7,9
3	5, -1	0,8	3,0	-3,7
4	-1, -1	5,1	3,0	-3,7

A Fig. 28 representa o diagrama de pontos de retorno resultante da mesma geometria que a da Fig. 27, exceto que a obliquidade é -7 minutos de arco, em vez de +7 minutos de arco para todos os sulcos laterais. O diagrama de pontos é novamente uniformemente distribuído, em comparação com as Figs. 24 – 26, bem como complementar ao diagrama de pontos mostrado na Fig. 27. Os erros diedros para este exemplo de inclinação variável são apresentados na Tabela 6. Observe-se que novamente aqueles diedro 1-2 e diedro 1-3 variam em oposição, diferindo tanto em magnitude e/ou sinal. A mudança de sinal da obliquidade resultou em uma mudança de magnitude e sinal do diedro 1-2 e 1-3, em comparação com a Tabela 5.

Tabela 6

Inclinação (minutos de arco)	Diedro 1-2 (minutos de arco)	Diedro 3-2 (minutos de arco)	Diedro 1-3 (minutos de arco)
-1, 5	-3,7	3,0	0,8
5, 5	-7,9	3,0	0,8
5, -1	-7,9	3,0	5,1
-1, -1	-3,7	3,0	5,1

As obliquidades positiva e negativa dos dois exemplos precedentes podem ser combinadas, provendo o diagrama de pontos da Fig. 29. Esta combinação poderia ser conseguida usinando-se metade da lâmina com +7 minutos de arco de obliquidade e a outra metade com -7 minutos de arco de obliquidade. Alternativamente, a obliquidade positiva e negativa poderia ser combinada dentro de cada lâmina, resultando em tanto a obliquidade e inclinação serem variadas concomitantemente dentro de uma dada lâmina. No último caso, um pequeno número de outros pontos de retorno resultaria dos cubos posicionados nos limite das seções oblíquas positivas e negativas. O diagrama de pontos é particularmente uniformemente distribuído, em comparação com as Figs. 24 – 26, visto que ele resulta da combinação dos diagramas de pontos das Figs. 27 e 28. Uma combinação dos erros diedros, como mostrado nas Tabelas 5 e 6, é associada com este diagrama de pontos, com os diedro 1-2 e diedro 1-3, diferindo em magnitude e sinal, variando em oposição.

A Fig. 30 apresenta os mesmos erros, obliquidade e inclinações de semi ângulo que os da Fig. 29, exceto para cubos que são chanfrados pra a frente em $7,47^\circ$. O diagrama de pontos é também uniformemente distribuído, embora ligeiramente diferente do diagrama de pontos chanfrado para trás da Fig. 29. Os erros diedros, associados com este diagrama de pontos, são resumidos na Tabela 7, em que o diedro 1-2 e diedro 1-3 novamente variam em oposição, incluindo pelo menos um cubo onde o diedro 1-2 e diedro 1-3 diferem em magnitude e/ou sinal.

Tabela 7

Inclinação (minutos de arco)	Obliquidade (minutos de arco)	Diedro 1-2 (minutos de arco)	Diedro 3-2 (minutos de arco)	Diedro 1-3 (minutos de arco)
-1, 5	7	4,3	3,0	-7,2
5, 5	7	0,1	3,0	-7,2
5, -1	7	0,1	3,0	-2,9
-1, -1	7	4,3	3,0	-2,9
-1, 5	-7	-2,9	3,0	0,1
5, 5	-7	-7,2	3,0	0,1
5, -1	-7	-7,2	3,0	4,3
-1, -1	-7	-2,9	3,0	4,3

As mesmas combinações de obliquidade e inclinação podem também ser utilizadas vantajosamente em combinação com os vértices de cubo chanfrados lateralmente, para prover um diagrama de pontos uniformemente distribuídos. Os cubos chanfrados lateralmente, como anteriormente examinado, compreendem duas diferentes orientações de cubo dentro da mesma fileira. Preferivelmente, deve ser tomado cuidado para aplicar as combinações de obliquidade e inclinação igualmente a ambos os tipos de cubo em uma dada fileira (p. ex., alfa (α) e beta (β)), a fim de obter desempenho uniforme em várias combinações de ângulo de entrada e orientação. O diagrama de pontos de retorno, para cubos que são chanfrados lateralmente em $6,03^\circ$ (Fig. 6, ângulo de alinhamento 90° ou 270°), utilizando-se obliquidade e inclinação, é mostrado na Fig. 31. As mesmas combinações de +7 e -7 minutos de arco de obliquidade, com -1 e 5 minutos de arco de inclinação, foram aplicadas igualmente aos cubos tanto alfa (α) como beta

(β). Erros de semi ângulo para os sulcos laterais são +1,5 minutos de arco em cada lado (diedro 2-3 e erro de ângulo de sulco lateral de +3 minutos de arco) e o erro de sulco primário é zero. O diagrama de pontos é muito uniformemente distribuído no ângulo de observação e de apresentação. Os 5 erros diedros, associados com este diagrama de pontos, são resumidos na Tabela 8, onde o diedro 1-2 e diedro 1-3 novamente variam em oposição, incluindo pelo menos um cubo em que o diedro 1-2 e diedro 1-3 diferem em magnitude e/ou sinal.

Tabela 8

obliquidade (minutos de arco)	Inclinação (minutos de arco)	Inclinação (minutos de arco)	Diedro 1-2 (minutos de arco)	Diedro 3-2 (minutos de arco)	Diedro 1-3 (minutos de arco)	Ângulo incluso inferior (°)	Ângulo incluso superior (°)
7	-1	-1	4,3	3,0	-3,9	52,387	37,613
7	-1	5	5,1	3,0	-7,4	37,613	52,387
7	5	5	-0,5	3,0	-7,6	52,387	37,613
7	5	-1	1,5	3,0	-2,7	37,613	52,387
7	-1	5	4,3	3,0	-7,6	52,387	37,613
7	5	5	1,5	3,0	-7,4	37,613	52,387
7	5	-1	-0,5	3,0	-3,9	52,387	37,613
7	-1	-1	5,1	3,0	-2,7	37,613	52,387
-7	-1	-1	-3,9	3,0	4,3	37,613	52,387
-7	-1	5	-2,7	3,0	1,5	52,387	37,613
-7	5	5	-7,6	3,0	-0,5	37,613	52,387
-7	5	-1	-7,4	3,0	5,1	52,387	37,613
-7	-1	5	-3,9	3,0	-0,5	37,613	52,387
-7	5	5	-7,4	3,0	1,5	52,387	37,613
-7	5	-1	-7,6	3,0	4,3	37,613	52,387
-7	-1	-1	-2,7	3,0	5,1	52,387	37,613

10 Uma característica dos elementos de vértice de cubo exemplificativos das Tabelas 5 – 8 é a formação de pelo menos um e tipicamente uma pluralidade de elementos de vértice de cubo PG em uma fileira tendo três erros de ângulo diédrico em que os erros de ângulo diédrico são diferentes entre si. Outra característica é que os erros de ângulo diédrico e, assim, a obliquidade e/ou inclinação, são dispostos em um padrão repetitivo através de uma lâmina ou fileira de elementos de vértice de cubo adjacentes. Outrossim, a lâmina ou fileira adjacente é preferivelmente opticamente idêntica, exceto que girada em 180º em torno do eixo geométrico -z, formando pares de lâminas ou pares de fileiras.
15

Métodos de usinar lâminas e formar uma ferramenta mestre, compreendendo uma pluralidade de lâminas, são conhecidos, tais como descritos na Patente U.S. 6.257.860 (Lutrell e outros). Para formas de realização em que os sulcos laterais são substancialmente livres de 5 obliquidade e/ou inclinação, os sulcos laterais podem ser formados em uma pluralidade de lâminas empilhadas, tais como descrito nas Patentes U.S. Nos. 6.257.860 (Lutrell e outros) e 6.159.407 (Krinke e outros).

Portanto, são ainda descritos aqui métodos de usinar lâminas provendo-se uma lâmina ou lâminas e formando-se sulcos conformados-V ou 10 superfície de trabalho 16 da lâmina em que os sulcos são formados com qualquer uma das combinações dos aspectos anteriormente descritos.

Em geral, a lâmina(s) podem compreender qualquer substrato adequado para formar sulcos diretamente usinados na borda. Substratos adequados são usinados de modo limpo, sem formação de rebarba, exibem 15 baixa ductilidade e baixa granulosidade e mantêm a precisão dimensional após formação do sulco. Uma variedade de plásticos ou metais usináveis pode ser utilizada. Plásticos adequados compreendem materiais termoplásticos ou termocuráveis, tais como acrílicos ou outros materiais. Materiais usináveis incluem alumínio, latão, cobre, níquel não elétrico e suas ligas. Metais preferidos incluem metais não-ferrosos. Material de lâmina adequado podem ser formados em folhas, por exemplo, por laminação, deposição química de fundição, eletrodeposição ou forjadura. Materiais de usinagem preferidos são tipicamente escolhidos para minimizar o desgaste da ferramenta de corte durante a formação dos sulcos.

As ferramentas de diamante, adequadas para uso, são de alta 25 qualidade, tais como ferramentas a diamante que podem ser compradas de K&Y Diamond (Mooers, NY) ou Chardon Tool (Chardon, OH). Em particular, ferramentas a diamante adequadas são livres de riscamento dentro de 10 mil (254 µm) da ponta, como pode ser avaliado com um microscópio de

luz branca 2000X. Tipicamente, a ponta do diamante tem uma parte plana variando de tamanho de cerca de 0,00003 polegadas (0,000762 mm) a cerca de 0,00005 polegadas (0,001270 mm). Além disso, o acabamento da superfície das ferramentas de diamante adequadas preferivelmente tem uma 5 aspereza média menor do que cerca de 3 nm e uma aspereza de pico para vale de menos do que cerca de 10 nm. O acabamento de superfície pode ser avaliado fazendo-se um corte de teste em um substrato usinável e avaliando-se o corte de teste com um micro-interferômetro, tal como pode ser comprado na Wyko (Tucson, AZ), uma divisão da Veeco.

10 Os sulcos conformados em V são formados com uma máquina de produção de ornamentos a diamante, que é capaz de formar cada sulco com fina precisão. A Moore Special Tool Company, Bridgeport, CT; Precitech, Keene, NH; e Aerotech Inc., Pittsburg, PA, manufaturam máquinas adequadas para tal finalidade. Tais máquinas tipicamente incluem um dispositivo de 15 posicionamento por interferômetro a laser. Uma mesa rotativa de precisão adequada é comercialmente disponível na AA Gage (Sterling Heights, MI); enquanto que um micro-interferômetro adequado é comercialmente disponível na Zygo Corporation (Middlefield, CT) e Wyko (Tucson, AZ), uma divisão da Veeco. A precisão (isto é, posicionamento ponto a ponto) do 20 espaçamento de sulco e profundidade de sulco é preferivelmente pelo menos tão precisa quanto ± 500 nm, mais preferivelmente pelo menos tão precisa quanto ± 250 nm e muitíssimo preferivelmente pelo menos tão precisa quanto ± 100 nm. A precisão do ângulo de sulco é pelo menos tão precisa quanto $\pm \frac{1}{2}$ minuto de arco ($\pm 0,0083$ grau) e muitíssimo preferivelmente pelo menos tão 25 precisa quanto $\pm \frac{1}{4}$ minuto de arco ($\pm 0,0042$ grau) em relação o comprimento do corte (p.ex., a espessura da lâmina). Além disso, a resolução (isto é, a capacidade da máquina de formação de sulco detectar a posição do eixo geométrico atual) é tipicamente de pelo menos cerca de 10% da precisão. Em consequência, para uma precisão de ± 100 nm, a resolução é de pelo menos \pm

10 nm. Em curtas distâncias (p. ex., cerca de 10 sulcos paralelos adjacentes) a precisão é aproximadamente igual à resolução. A fim de consistentemente formar uma pluralidade de sulcos de tal precisão fina, durante o correr do tempo, a temperatura do processo é mantida dentro de $\pm 0,1$ °C e, 5 preferivelmente, dentro de $\pm 0,01$ °C.

Embora a mudança de formato de um único elemento de vértice de cubo, devido à obliquidade e/ou inclinação, seja pequeno com respeito a um único elemento (p.ex., limitada principalmente a mudanças dos ângulos de diedro), é evidente que a formação de sulcos oblíquos e/ou 10 inclinados em uma pilha de lâminas pode ser problemática. Uma vez que os sulcos laterais desviam-se da paralela até tanto quanto 1°, geometrias de cubo significativamente variáveis podem ser produzidas através da pilha. Estas variações aumentam quando o tamanho da pilha aumenta. O número máximo calculado de lâminas que podem ser usinadas simultaneamente (isto é, em 15 uma pilha), sem criar geometrias de cubo variáveis, é tão pouco quanto duas lâminas (p. ex., para obliquidade de 1°, lâmina com a espessura de 0,020 polegada (0,508 mm) de espaçamento de sulco lateral).

Devido aos problemas de usinagem das pilhas de lâminas tendo sulcos laterais oblíquos ou inclinados, na prática de tais formas de 20 realização os sulcos laterais são preferivelmente formados em lâminas individuais com uma máquina de formação de sulco. Um método preferido para formar sulcos na parte da borda de lâminas individuais, montar as lâminas em uma ferramenta mestre e replicar a superfície microestruturada das lâminas montadas, é descrito no Publicação de Patente U.S. de Série 25 10]383039, intitulado “Methods of Making Microstructured Lamina and Apparatus”, depositado em 6 de março de 2003. O Pedido de Patente U.S. de Série 10/383039 foi simultaneamente depositado com o Pedido de Patente Provisória No. de Série 60/452464, para o qual o presente pedido reivindica prioridade.

Para formar uma ferramenta mestre de tamanho adequado, para formar laminado retrorreflexivo, uma pluralidade de ornamentações (também referidas como ladrilhos) é formada por eletrogalvanização da superfície da ferramenta mestre para formar cópias negativas, 5 subsequentemente eletrogalvanização das cópias negativas para formar cópias positivas, eletrogalvanização das cópias positivas para formar uma segunda geração de cópias negativas etc. A cópia positiva tem a mesma estrutura de elemento de vértice de cubo que a ferramenta mestre, enquanto que a cópia negativa é a réplica da cavidade de cubo. Portanto, uma ferramenta de cópia negativa é empregada para produzir um laminado de cópia positiva (isto é, elemento de vértice de cubo), enquanto que uma ferramenta de cópia positiva é empregada pra produzir um laminado de cópia negativa (isto é, cavidade de vértice de cubo). Além disso, o laminado retrorreflexivo pode compreender 10 uma combinação de elementos de vértice de cubo e microestruturas de cavidade de vértice de cubo. As técnicas de eletroformação, tais como descritas nas Patentes U.S. Nos. 4.478.769 e 5.156.863 (pricone), bem como na Patente U.S. 6.159.407 (Krinke), são conhecidas. A ladrilhagem de tais 15 ornamentações entre si pode então montar uma ferramenta mestre do tamanho desejado. Na presente invenção, as ornamentações são tipicamente ladrilhadas 20 na mesma orientação.

Como aqui usado, “laminado” refere-se a uma peça fina de material polimérico (p. ex., sintético), sobre o qual microestruturas de vértice de cubo foram formadas. A lamina pode ser de qualquer largura e comprimento, tal dimensão somente sendo limitada pelo equipamento (p. ex., largura da ferramenta, largura do orifício da matriz de fenda etc.) pelo qual o 25 laminado foi produzido. A espessura do laminado retrorreflexivo tipicamente varia de cerca de 0,004 polegadas (0,1016 mm) a cerca de 0,10 polegadas (2,54 mm). Preferivelmente a espessura do laminado retrorreflexivo é menor 20 de que cerca de 0,020 polegada (0,508mm) e, mais preferivelmente, menor do

que cera de 0,014 polegada (0,3556 mm). O laminado retrorreflexivo pode ainda incluir camadas de superfície, tais como películas ou coberturas de selagem. No caso de laminado retrorreflexivo, a largura é tipicamente de pelo menos 30 polegadas (122 cm) e, preferivelmente, de pelo menos 48 polegadas 5 (76 cm). O laminado é tipicamente contínuo em seu comprimento por até cerca 50 jardas (45,5 m) a 100 jardas (91 m), de modo que o laminado é provido em um artigo de rolo manuseado convenientemente. Alternativamente, entretanto, o laminado pode ser manufaturado como folhas individuais, em vez de como um artigo de rolo. Em tais formas de realização, 10 as folhas preferivelmente correspondem em dimensões ao artigo acabado. Por exemplo, o laminado retrorreflexivo pode ter as dimensões de um sinal U.S. padrão (p. ex., 30 polegadas por 30 polegadas) (76 cm por 76 cm) e, assim, a ferramenta microestruturada, empregada para preparar o laminado, pode ter aproximadamente as mesmas dimensões. Artigos menores, tais como placas 15 de licença ou botões reflexivos podem empregar laminado tendo dimensões correspondentemente menores.

A forma de realização é preferivelmente manufaturada como um material integral, isto é, em que os elementos de vértice de cubo são interconectados em uma camada contínua por toda a dimensão do molde, os 20 elementos individuais e conexões entre eles compreendendo o mesmo material. A superfície do laminado opondo-se à superfície microprismática é tipicamente lisa e plana, também sendo referida como a “camada de terra”. A espessura da camada de terra (isto é, a espessura excluindo aquela parte resultante da microestrutura replicada) é entre 0,001 e 0,100 polegadas e, 25 preferivelmente, entre 0,003 e 0,010 polegadas. A manufatura de tal laminado é tipicamente conseguida fundindo-se uma composição de resina fluida sobre a ferramenta e permitindo-se que a composição endureça para formar uma folha. Um método preferido para fundir resina fluida sobre a ferramenta é descrito no Pedido de Patente U.S. de Série 10/382375, intitulado “Method of

Making Retroreflective Sheeting and Slot Die Apparatus”, depositado em 6 de março de 2003. O Pedido de Patente U.S. de Série 60/452464, para o qual a presente invenção reivindica prioridade.

Opcionalmente, entretanto, a ferramenta pode ser empregada como uma ferramenta de estampagem, para formar artigos retrorreflexivos, tais como descritos na Patente U.S. 4.601.861 (Pricon). Alternativamente, o laminado retrorreflexivo pode ser manufaturado como um produto encamado por fundição dos elementos de vértice de cubo contra uma película pré-conformada, como ensinado no pedido PCT No. WO 95/11464 e Patente U.S. 3.684.348, ou laminando-se uma película pré-conformada em elementos de vértice de cubo pré-conformados. Ao assim proceder, os elementos de vértice de cubo individuais são interconectados pela película pré-conformada. Além disso, os elementos e película consistem tipicamente de diferentes materiais.

Na manufatura do laminado retrorreflexivo, prefere-se que os canais da ferramenta sejam aproximadamente alinhados com a direção da ferramenta de avanço, como mais descrito no Pedido de Patente U.S. de Série 60/452605, intitulado “Methods of Making Retroreflective Sheeting and Articles”, depositado em 6 de março de 2003. O Pedido de Patente U.S. de Série 60/452605 foi depositado concomitantemente com o Pedido de Patente Provisória No. de Série 60/452464, para o qual a presente invenção reivindica prioridade. Por conseguinte, antes de qualquer outras etapas de manufatura, o sulco primário do laminado seria substancialmente paralelo à borda do rolo do laminado. Os presentes inventores descobriram que, orientando-se os canais desta maneira de folha contínua abaixo permite-se mais rápida replicação do que quando o sulco primário é orientado transversal à folha contínua. Supõe-se que o sulco primário e outras estruturas de cubo combinam-se para formar canais para melhorado fluxo da resina.

Composições de resina adequadas para o laminado retrorreflexivo desta invenção são preferivelmente materiais transparentes, que

são dimensionalmente estáveis, duráveis, resistentes às intempéries e prontamente moldáveis na configuração desejada. Exemplos de materiais adequados incluem acrílicos, que têm um índice refrativo de cerca de 1,5, tais como resina marca Plexiglas, manufaturada por Rohm and Haas Company;

5 policarbonatos, que têm um índice refrativo de cerca de 1,59; materiais reativos, tais como acrilatos e epóxi acrilatos termocuráveis; ionômeros baseados em polietileno, tais como aqueles comercializados sob o nome comercial de SURLYN por E. I. Dupont de Nemours and Co., Inc.; ácido (poli)etíleno-co-acrílico; poliésteres; poliuretanos; e butiratos de acetato de

10 celulose. Os policarbonatos são particularmente adequados por causa de sua dureza e índice refrativo relativamente mais elevado, o que geralmente contribui para melhorado desempenho retrorreflexivo em uma faixa mais larga de ângulos de entrada. Estes materiais podem também incluir corantes, colorantes, pigmentos, estabilizadores UV ou outros aditivos.

15 Um revestimento reflexivo especular, tal como um revestimento metálico, pode ser colocado no lado detrás dos elementos de vértice de cubo. O revestimento metálico pode ser aplicado por técnicas conhecidas, tais como deposição a vapor ou depositando-se quimicamente um metal, tal como alumínio, prata ou níquel. Uma camada de revestimento base pode ser aplicada ao lado detrás dos elementos de vértice de cubo, para promover a aderência dor revestimento metálico. Além de ou em lugar de um revestimento metálico, uma película de selagem pode ser aplicada ao lado detrás dos elementos de vértice de cubo; vide, por exemplo, Patentes U.S. Nos. 4.025.159 e 5.117.304. A película de selagem mantém uma interface

20 aérea no lado detrás dos cubos, que possibilita reflexão interna total na interface e inibe a entrada de contaminantes, tais como sujeira e/ou umidade. Além disso, uma película de cobertura separada pode ser utilizada na superfície de visualização do laminado, para melhorada (p.ex., em ambiente externo) durabilidade ou para prover uma superfície receptiva a imagem.

25

Indicativa de tal durabilidade em ambiente externo é a manutenção de suficientes especificações de brilho, tais como evocadas na ASTM D49560-1a, após prolongadas durações de exposição ao tempo (p. ex., 1 ano, 3 anos). Além disso, a brancura CAP Y é preferivelmente maior do que 30, antes e 5 após exposição ao tempo.

Uma camada adesiva também pode ser disposta atrás dos elementos de vértice de cubo ou da película de vedação, para possibilitar que o laminado retrorreflexivo de vértice de cubo seja preso a um substrato. Substratos adequados incluem madeira, laminado de alumínio, aço 10 galvanizado, materiais poliméricos tais como metacrilatos de polimetileno, poliésteres, poliamidas, fluoretos de polivinila, policarbonatos, cloretos de polivinila, poliuretanos e uma larga variedade de laminados produzidos destes e outros materiais.

Com referência à Fig. 6, as lâminas são preferivelmente 15 alinhadas verticalmente. Ao assim proceder, na replicação uma fileira de elementos é derivada de cada lâmina. Alternativamente, entretanto, estas mesmas características ópticas podem ser derivadas de lâminas horizontalmente alinhadas. O plano comum com que uma face de cada elemento dentro de uma fileira compartilha, dentro de cerca de 3-4 micros, 20 pode variar ligeiramente (p. ex., menor do que 1°) para lâminas horizontalmente alinhadas. É evidente que uma fileira de cubos foi derivada de uma lâmina, devido à presença de ligeiros desalinhamentos verticais ou horizontais, como pode ser observado, por exemplo, com microscopia eletrônica de varredura.

Independente do método de produzir a lâmina retrorreflexiva 25 ou se a ferramenta mestre foi derivada de uma técnica de lâmina ou outra técnica, o laminado da invenção tem certas características ópticas únicas, que podem ser detectadas olhando-se o laminado com um microscópio ou interferômetro, como anteriormente descrito. Além disso, o laminado

retrorreflexivo compreende qualquer um aspecto ou combinação de aspectos, anteriormente descritos com respeito à(s) lâmina(s).

Em um aspecto, o laminado retrorreflexivo compreende uma fileira de elementos de vértice de cubo ou uma disposição de elementos de vértice de cubo, em que o ângulo inclusivo entre um primeiro e segundo elementos concorrentes de uma fileira difere em ângulo inclusivo entre um segundo e terceiro elementos concorrentes da fileira. Com respeito ao laminado, a fileira é definida pelos elementos em que uma face de cada elemento dentro da fileira compartilha um plano comum (p. ex., face de sulco primário, superfície de trabalho 12 ou 14). A magnitude da diferença do ângulo inclusivo entre cubos adjacentes, bem como outras características preferidas (p.ex., dispostos em um padrão repetitivo, altura de pico comum, planos bissecadores que variam de mutuamente nominalmente paralelos e não-paralelos em menos do que 1°) dentro de uma fileira ou disposição, são as mesmas que anteriormente descritas com respeito à lâmina.

Alternativamente ou em combinação, o laminado retrorreflexivo compreende uma fileira ou uma disposição de elementos de vértice de cubo (p. ex., elementos de vértice de cubo PG), EM QUE pelo menos uma parte dos elementos de uma fileira ou disposição é predominantemente chanfrada lateralmente, os elementos tendo ângulos de alinhamento entre 45° e 135° e/ou tendo um ângulo de alinhamento entre 225° e 315° em relação à borda do diedro, que é substancialmente perpendicular a uma fileira de elementos em vista em planta. Nas formas de realização preferidas, o laminado retrorreflexivo compreende uma fileira de elementos de vértice de cubo ou uma disposição tendo elementos de vértice de cubo tendo cada um destes ângulos de alinhamento. Tal disposição é substancialmente livre de elementos de vértice de cubo predominantemente chanfrados para a frente ou predominantemente chanfrados para trás. O laminado retrorreflexivo, compreendendo elementos de vértice de cubo

predominantemente chanfrados lateralmente, pode ainda compreender quaisquer das características anteriormente descritas com respeito à lâmina.

Alternativamente ou em combinação, o laminado retrorreflexivo compreende sulcos oblíquos ou inclinados. Em consequência, 5 a fileira ou a disposição em que pelo menos dois sulcos adjacentes e, preferivelmente, todos os sulcos do (p. ex., laterais) conjunto de sulcos não são paralelos em um valor variando de mais do que nominalmente paralelo a cerca de 1º e podem ainda incluir os vários atributos descritos com respeito à lâmina compreendendo este aspecto.

10 Em outra aspecto, sozinho ou em combinação com ângulos inclusos diferindo e/ou chanfradura lateral, o laminado retrorreflexivo pode compreender uma fileira ou elementos ou uma disposição em que os sulcos do conjunto de sulcos laterais são nominalmente paralelos entre si, embora variam de nominalmente paralelos a não-paralelos ao plano de referência 28.

15 O laminado retrorreflexivo é útil para uma variedade de usos, tais como sinais de tráfego, marcações de pavimento, marcações de veículo e artigos de segurança pessoal, em vista de seu elevado brilho retrorrefletido. O coeficiente de retrorreflexão, R_A , pode ser medido de acordo com US Federal Test Method Standard 370 em entrada de -4º, orientação 0º, em vários ângulos de observação. O laminado resultante satisfaz as especificações de brilho evocadas na ASTM D4956-1a "The Standard Specification for Retroreflective Sheeting for Traffic Control" para laminado Tipo IX. Adicionalmente, os mínimos de brilho especificado são significativamente excedidos em entrada de -4º, uma media de orientação de 0º e 90º, 20 apresentação 0º e vários ângulos de observação. O brilho é preferivelmente de pelo menos 625 candelas por lux por metro quadrado (CPL), mais preferivelmente pelo menos 650 CPL, mesmo mais preferivelmente pelo menos 675 CPL e, muitíssimo preferivelmente, pelo menos 700 CPL, em um ângulo de observação de 0,2º. Alternativamente, e preferivelmente em adição,

o brilho em um ângulo de observação de 0,33º é preferivelmente de pelo menos 575 CPL, mais preferivelmente pelo menos 600 CPL, mesmo mais preferivelmente pelo menos 625 CPL e, muitíssimo preferivelmente, pelo menos 650 CPL. Em adição ou em alternativa, o brilho em um ângulo de observação de 0,5º é preferivelmente de pelo menos 375 CPL, mais preferivelmente pelo menos 400 CPL, mesmo mais preferivelmente pelo menos 425 CPL e muitíssimo preferivelmente pelo menos 450 CPL. Além disso, o brilho em um ângulo de observação de 1,0º é preferivelmente de pelo menos 80 CPL, mais preferivelmente pelo menos 100 CPL e, muitíssimo preferivelmente, pelo menos 120 CPL. Igualmente, o brilho em um ângulo de observação de 1,5º é preferivelmente de pelo menos 20 CPL e, mais preferivelmente, pelo menos 25 CPL. O laminado retrorreflexivo pode compreender qualquer combinação de critérios de brilho acabados de ser citados.

Brilho melhorado na região em torno do ângulo de observação de 0,5 (Isto é, 0,4 a 0,6) é particularmente importante para visualizar sinais de tráfego (p. ex., montados à direita) pelos veículos de passageiro em distância de aproximadamente 200 a 400 pés (61 a 122 m) e para a visualização de sinais de tráfego (p. ex., montados à direita) pelos motoristas de grandes caminhões, em distâncias de cerca de 450 a 950 pés (137 a 290 m).

Os objetivos e vantagens da invenção são ainda ilustrados pelos seguintes exemplos, porém os materiais particulares e suas quantidades citadas nos exemplos, bem como outras condições e detalhes, não devem ser interpretados como indevidamente limitando a invenção.

25 Exemplos 1A e 1B

Os sulcos foram formados em lâmina individual, a lâmina individual montada e a superfície microestruturada replicada como descrito no Pedido de Patente U.S. de Série 10/383039, depositado em 6 de março de 2003, anteriormente citado. O Pedido de Patente U.S. de Série 10/383039 foi

depositado simultaneamente com o Pedido de Patente Provisória No. de Série 60/452464, para o qual o presente pedido reivindica prioridade. Todas as lâminas usinadas tinham a geometria representada nas Figs. 6 e 7, com ligeiras variações devidas à variação do erro de semi ângulo, obliquidade e inclinação dos sulcos laterais. A espessura da lâmina era de 0,0075 polegadas (0,1905 mm) e o espaçamento do sulco lateral era de 0,005625 polegadas (0,1428 mm), exceto quanto às ligeiras variações que acabamos de descrever. Uma padrão repetitivo de oito cubos foi seqüencialmente formado em cada lâmina. Este padrão repetitivo de cubos foi formado variando-se os erros de semi ângulo, obliquidade e inclinação dos sulcos laterais, como expostos nas Tabelas próximas 10 – 14. Cada fileira das tabelas define os parâmetros usados durante a usinagem de um sulco lateral individual. Os erros diedros de vértice de cubo, como definido na Fig. 22, são formados pelos dois sulcos laterais adjacentes, que intersectam a superfície de sulco principal para formar cada cubo. Em consequência, as fileiras definindo erros de ângulo diédrico são deslocadas na tabela para tornar claros seus sulcos laterais adjacentes.

Foram formadas oito lâminas, que diferiram com respeito ao erro de ângulo e/ou obliquidade e/ou inclinação dos sulcos laterais, de modo que foram obtidos os erros de ângulo diédrico, informados em cada uma das seguintes Tabelas 10 – 14, com exceção da Tabela 13, em que a obliquidade de uma parte dos sulcos laterais foi modificada.

Lâmina 1 e Lâmina 2

Os parâmetros de sulco lateral da primeira lâmina, bem como da segunda lâmina, a segunda lâmina sendo uma lâmina oposta à primeira lâmina, são informados nas Tabelas 10 e 11, respectivamente. O erro de semi ângulo de sulco primário foi de -8 minutos de arco para todos os sulcos primários. Os ângulos inclusos nominais dos sulcos laterais (os ângulos requeridos para produzir sulcos ortogonais) foram de $75,226^\circ$ e $104,774^\circ$. O erro de ângulo incluso para todos os sulcos laterais foi de -9,2 minutos de

arco, resultando em ângulos inclusos de sulco lateral reais de 75,073° e 104,621°. Embora o erro de ângulo incluso fosse constante para os sulcos laterais, os erros de semi ângulo foram variados. Os erros de semi ângulo para o tipo de primeira lâmina variou de -14,8 minutos de arco a 5,6 minutos de arco, como mostrado na coluna 3 da Tabela 10. Os erros de semi ângulo são apresentados em grupos de dois (totalizando -9,2 minutos de arco), correspondendo aos dois semi ângulos para cada sulco lateral. O erro de diedro 2-3 resulta da combinação de erros de semi ângulo em sulcos laterais adjacentes e é resumido na coluna 4. Os erros diedros 2-3 variaram de -1,6 minutos de arco a -16,8 minutos de arco para a primeira lâmina.

A obliquidade e inclinação são dadas nas colunas cinco e seis da Tabela 10, respectivamente. A obliquidade variou de -8,0 minutos de arco a 15,0 minutos de arco para a primeira lâmina. A inclinação variou de -6,1 minutos de arco a 10,8 minutos de arco. Os erros diedros 1-2 e 1-3 resultantes da obliquidade e inclinação dos sulcos laterais são mostrados nas duas colunas finais. Observe-se que os erros diedros 1-2 e 1-3 variaram em oposição, com pelo menos um cubo da lâmina compreendendo erros diedros 1-2 e 1-3 com diferentes magnitudes e/ou sinais.

Os sulcos laterais da segunda lâmina é resumido na Tabela 11 e são estreitamente relacionados com os da lâmina da Tabela 10. As primeira e segunda colunas, que fornecem o ângulo de sulco lateral nominal, bem como o erro de ângulo incluso de sulco lateral, são idênticas. Todas as outras colunas para os parâmetros de sulco lateral (erros de semi ângulo, obliquidade e inclinação), bem como erros de ângulo diédrico, são invertidas em relação à Tabela 10. Isto reflete o fato de que uma lâmina oposta é opticamente idêntica a sua contraparte, exceto girada 180° em torno do eixo geométrico-z.

Lâmina 4, Lâmina 6 e Lâmina 8

Para simplicidade, os parâmetros de sulco lateral das quarta, sexta e oitava lâmina, que estão respectivamente opondo-se à terceira, quinta

e sétima lâminas, não são reiterados, uma vez que o parâmetro dos sulcos laterais têm esta mesma relação invertida, como acabamos de descrever.

Lâmina 3

O parâmetro de sulco lateral da terceira lâmina é dado na 5 Tabela 12. O erro de semi ângulo de sulco primário era de -8 minutos de arco. A geometria básica (dimensões e ângulos inclusos de sulco lateral nominais) foi a mesma que do primeiro tipo de lâmina. O erro de ângulo inclusivo real para todos os sulcos laterais foi novamente de -9,2 minutos de arco. Os erros de semi ângulo, para os sulcos laterais de tipo de segunda lâmina, variaram de 10 -14,8 minutos de arco a 5,6 minutos de arco. Os erros diedros 2-3 variaram de -1,6 minutos de arco a -16,8 minutos de arco. A obliquidade variou de -14,0 minutos de arco a 21,3 minutos de arco, enquanto a inclinação variou de -12,7 minutos de arco a 16,8 minutos de arco para este tipo de lâmina. Os erros diedros 1-2 e 1-3 (mostrados nas duas colunas finais) variaram em oposição.

Lâmina 5

Os parâmetros de sulco da quinta lâmina são dados na Tabela 13. O erro de semi ângulo de sulco primário foi de -4 minutos de arco. A geometria básica (dimensões e ângulos inclusos de sulco lateral nominais) foi a mesma das lâminas precedentes. O erro de ângulo inclusivo para todos os 20 sulcos laterais foi de -1,6 minutos de arco, resultado em ângulos inclusos de sulco lateral reais de $75,199^\circ$ e $104,747^\circ$. Os erros de semi ângulo para o tipo de terceira lâmina variaram de 5,2 minutos de arco a 3,6 minutos de arco. Os erros diedros 2-3 variaram de -7,2 minutos de arco a 4,0 minutos de arco. A obliquidade variou de -7,0 minutos de arco a 9,5 minutos de arco, enquanto a 25 inclinação variou de -8,2 minutos de arco a 1,4 minutos de arco. Os erros diedros 1-2 e 1-3 (mostrados nas duas colunas finais) variaram em oposição.

Lâmina 7

O parâmetro de sulco lateral para a sétima lâmina é dado na Tabela 14. O erro de semi ângulo de sulco primário foi de -4,0 minutos de

arco. A geometria básica (dimensões e ângulos inclusos de sulco lateral nominais) foi a mesma que a do tipo de primeira lâmina. O erro de ângulo incluso real para todos os sulcos laterais foi novamente de -1,6 minutos de arco. Os erros de semi ângulo variaram de -5,2 minutos de arco a 3,6 minutos de arco. Os erros diedros 2-3 variaram de -7,2 minutos de arco a 4,0 minutos de arco. A obliquidade variou de -5,3 minutos de arco a 5,3 minutos de arco, enquanto a inclinação variou de -2,1 minutos de arco a 4,6 minutos de arco para este tipo de lâmina. Os erros diedros 1-2 e 1-3 (mostrados nas duas colunas finais) variaram em oposição.

Um total de 208 lâminas foi montado, de modo que as bordas não-diedras dos elementos das lâminas opostas contatassem entre si com uma precisão de modo que a montagem fosse substancialmente livre de paredes verticais (p.ex., paredes maiores do que 0,0001 nas dimensões laterais). As lâminas foram montadas de modo que a ordem da lâmina 1-8 fosse seqüência repetida por toda a montagem e a superfície estruturada da montagem fosse então replicada por eletroformação, para criar uma ferramenta de cavidade de cubo. A montagem e processo de eletroformação é ainda descrito no Pedido de Patente U.S. de Série 10/383039 anteriormente citado, depositado em 6 de março de 2003. O Pedido de Patente U.S. de Série 10/383039 foi depositado simultaneamente com o Pedido de Patente Provisória No. de Série 60/452464, para o qual o presente pedido reivindica prioridade.

Para o Exemplo 1A, a ferramenta foi usada em uma prensa de moldagem por compressão, com a prensagem realizada em uma temperatura de aproximadamente 375 °F (191 °C) a 385 °F (196 °C), uma pressão de aproximadamente 1600 psi (112 kg/cm²) e um tempo de permanência de 20 segundos. O policarbonato moldado foi então esfriado a cerca de 200 °F (100 °C) durante 5 minutos.

Para o Exemplo 2A, o policarbonato fundido foi lançado sobre a superfície de ferramenta como descrito no Pedido de Patente U.S. de Série

10/382375 anteriormente citado, depositado em 6 de março de 2003. O Pedido de Patente U.S. de Série 10/382375 foi depositado simultaneamente com o Pedido de Patente Provisória No. de Série 60/452464, para o qual o presente pedido reivindica prioridade.

5 Para tanto o Exemplo 1A como 1B, uma película de dupla camada, compreendendo poliéster de 0,7 mil e copoliéster amorfo de 0,85 mil, foi aplicada no lado traseiro dos elementos de vértice de cubo, contatando-se o copoliéster amorfo contendo a superfície com a superfície de película de policarbonato microestruturada, em um processo de selagem 10 contínua. A construção foi passada continuamente através de um rolo de aperto de borracha, tendo uma luva de Teflon e um rolo de aço aquecido. A superfície do rolo de aperto de borracha tinha cerca de 165 °F (74 °C) e a superfície do rolo de aço aquecido tinha cerca de 405 °F (207 °C). A pressão de aperto foi de cerca de 12,5 kg/cm e a velocidade era de 6,10 m/min. A 15 retenção do brilho após selagem era de cerca de 70%.

O laminado resultante satisfaz as especificações de brilho evocadas na ASTM D4956-1a "The Standard Specification for Retroreflective Sheeting for Traffic Control" para laminado tipo IX. Adicionalmente, os mínimos de brilho especificados são significativamente excedidos para 20 entrada -4°, uma média de orientação de 0° a 90°, apresentação de 0° e vários ângulos de observação, como segue:

Tabela 9

Ângulo de Observação	Laminado Retrorreflexivo Comparativo 1 Média 0/90 CPL	Laminado Retrorreflexivo Comparativo 2 Média 0/90 CPL	Laminado Moldado por Compressão Exemplo 1A Média 0/90 CPL	Laminado por Extrusão Exemplo 1B Média 0/90 CPL
0,2	726	489	788	740
0,33	660	432	748	700
0,5	276	348	554	502
1	37	106	141	162
1,5	13	24	32	35

A Tabela 9 mostra que o laminado retrorreflexivo da presente

invenção tem um brilho mais elevado em cada um dos ângulos de observação indicados, em comparação com o Laminado Retrorreflexivo Comparativo 2 e Laminado Retrorreflexivo Comparativo 3. O brilho melhorado na região em torno do ângulo de observação 0,5 é particularmente importante para 5 visualização dos sinais de tráfego (p. ex., montado à direita) pelos veículos de passageiro, a distâncias de aproximadamente de 61 a 122 m e para a visualização de sinais de tráfego (p. ex., montados à direita) por motoristas de grandes caminhões, a distâncias de cerca de 237 a 290 m.

O laminado do Exemplo 1A foi constatado ter um índice de 10 uniformidade medido de 2,04 para retorno de luz total dentro de observação de 2,0°.

Várias modificações e alterações desta invenção tornar-se-ão evidentes para aqueles hábeis na técnica, sem desvio do escopo e espírito desta invenção.

15

Tabela 10

Ângulo Incluso Sulco Lateral Nominal	Erro Ângulo Incluso Sulco Lateral	Erros Semi Ângulo Sulco Lateral	Erro Diedro 2-3 (min)	Obliquid ade (min)	Inclinação (min)	Erro Diedro 1-3 (min)	Erro Diedro 1-2 (min)
75,226	-9,2	-7,2		15,0	2,5		
		-2,0				-16,1	-6,0
104,774	-9,2	-7,2	-9,2	0,0	-0,4		
		-2,0				-6,0	-16,0
75,226	-9,2	-7,2	-9,2	-7,0	10,8		
		-2,0				-7,0	-12,8
104,774	-9,2	-7,2	-16,8	-8,0	3,1		
		-2,0				-4,6	-5,7
75,226	-9,2	-14,8	-1,6	-7,0	-6,0		
		5,6				3,3	1,9
104,774	-9,2	-7,2	-9,2	14,7	-1,2		
		-2,0				-12,7	-7,0
75,226	-9,2	-7,2	-16,8	-1,0	2,5		
		-2,0				-5,8	-4,9
104,774	-9,2	-14,8	-1,6	-6,7	-6,1		
		5,6				1,8	3,3
75,226	-9,2	-7,2		15,0	2,5		
		-2,0					

Tabela 11

Ângulo Incluso Sulco Lateral Nominal	Erro Ângulo Incluso Sulco Lateral	Erros Semi Ângulo Sulco Lateral	Erro Diedro 2-3 (min)	Obliquidade (min)	Inclinação (min)	Erro Diedro 1-3 (min)	Erro Diedro 1-2 (min)
75,226	-9,2	-2,0		15,0	2,5		
		-7,2	-1,6			1,8	3,3
104,774	-9,2	5,6		-6,7	-6,1		
		-14,8	-16,8			-5,8	-4,9
75,226	-9,2	-2,0		-1,0	2,5	-12,7	-7,0
		-7,2	-9,2			3,3	1,9
104,774	-9,2	-2,0		14,7	-1,2		
		-7,2	-1,6			-4,6	-5,7
75,226	-9,2	5,6		-7,0	-6,0		
		-14,8	-16,8			-8,0	3,1
104,774	-9,2	-2,0		-9,2	-7,0	-7,0	-12,8
		-7,2	-9,2			-6,0	-16,0
75,226	-9,2	-2,0		-9,2	10,8		
		-7,2	-9,2			-16,1	-6,0
104,774	-9,2	-2,0		0,0	-0,4		
		-7,2	-9,2				
75,226	-9,2	-2,0		15,0	2,5		
		-7,2					

Tabela 12

Ângulo Incluso Sulco Lateral Nominal	Erro Ângulo Incluso Sulco Lateral	Erros Semi Ângulo Sulco Lateral	Erro Diedro 2-3 (min)	Obliquidade (min)	Inclinação (min)	Erro Diedro 1-3 (min)	Erro Diedro 1-2 (min)
75,226	-9,2	-7,2		21,3	2,0		
		-2,0	-9,2			-19,8	-8,7
104,774	-9,2	-7,2		0,0	3,0		
		-2,0	-9,2			-8,7	-19,7
75,226	-9,2	-7,2		-7,2	16,8		
		-2,0	-9,2			-10,5	-15,4
104,774	-9,2	-7,2		-14,0	3,1		
		-2,0	-16,8			-1,4	-1,5
75,226	-9,2	-14,8		-6,7	2,6		
		5,6	-1,6			7,2	5,0
104,774	-9,2	-7,2		20,5	-12,7		
		-2,0	-9,2			-15,4	-10,6
75,226	-9,2	-7,2		-7,0	2,0		
		-2,0	-16,8			-1,6	-1,4
104,774	-9,2	-14,8		-6,7	-10,5		
		5,6	-1,6			5,3	7,7
75,226	-9,2	-7,2		21,3	2,0		
		-2,0					

Tabela 13

Ângulo Incluso Sulco Lateral Nominal	Erro Ângulo Incluso Sulco Lateral	Erros Semi Ângulo Sulco Lateral	Erro Diedro 2-3 (min)	Obliquidade (min)	Inclinação (min)	Erro Diedro 1-3 (min)	Erro Diedro 1-2 (min)
75,226	- 1,6	0,4		2,1	- 4,0		
		- 2,0	- 1,6			- 1,4	3,3
104,774	- 1,6	0,4		0,0	- 8,2		
		- 2,0	- 1,6			3,3	- 1,3
75,226	- 1,6	0,4		- 4,7	- 6,8	4,7	- 1,7
		- 2,0	- 1,6			- 6,8	- 7,6
104,774	- 1,6	0,4		5,1	1,4		
		- 2,0	- 7,2			1,5	- 1,5
75,226	- 1,6	- 5,2		- 7,0	1,0		
		3,6	4,0			- 1,9	4,8
104,774	- 1,6	0,4		0,4	- 1,8		
		- 2,0	- 1,6			- 7,5	- 6,8
75,226	- 1,6	0,4		9,5	- 1,8		
		- 2,0	- 7,2			- 1,4	1,4
104,774	- 1,6	- 5,2		- 5,4	1,2		
		3,6	4,0				
75,226	- 1,6	0,4		2,1	- 4,0		
		- 2,0					

Tabela 14

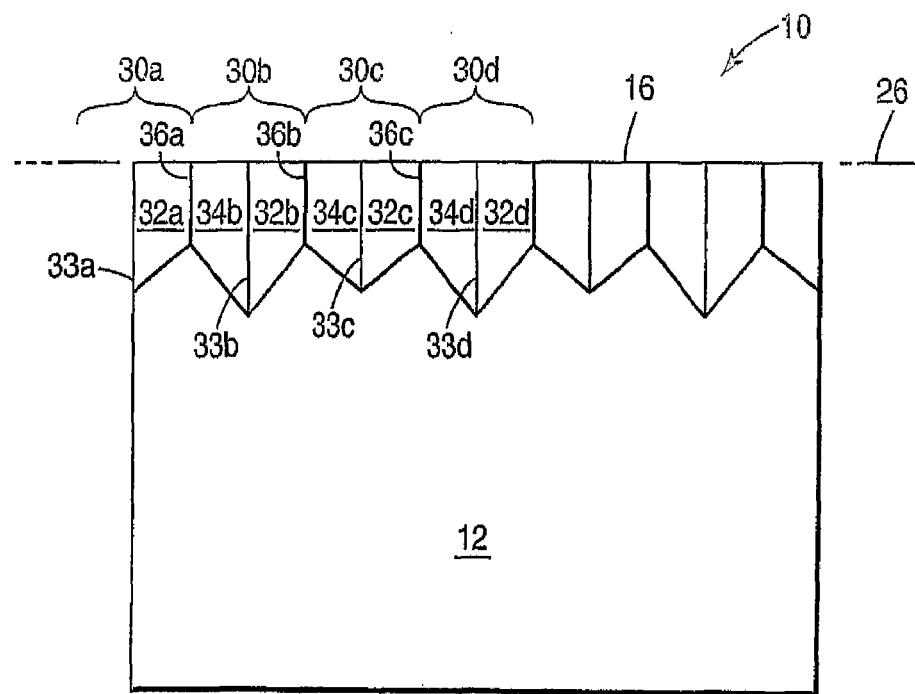
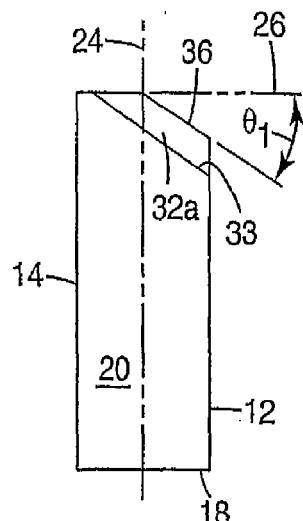
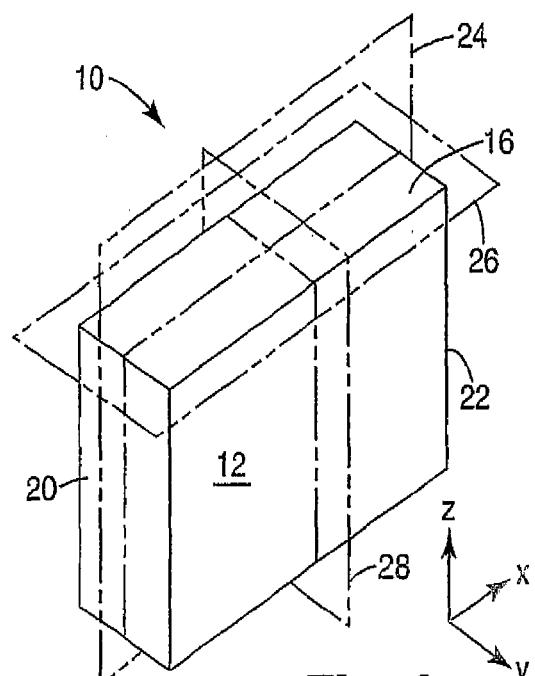
Ângulo Incluso Sulco Lateral Nominal	Erro Ângulo Incluso Sulco Lateral	Erros Semi Ângulo Sulco Lateral	Erro Diedro 2-3 (min)	Obliquidade (min)	Inclinação (min)	Erro Diedro 1-3 (min)	Erro Diedro 1-2 (min)
75,226	- 1,6	0,4		4,7	3,6		
		- 2,0	- 1,6			- 7,7	- 1,5
104,774	- 1,6	0,4		0,0	- 2,1		
		- 2,0	- 1,6			- 1,5	- 7,7
75,226	- 1,6	0,4		- 4,7	3,6		
		- 2,0	- 1,6			- 1,6	- 6,8
104,774	- 1,6	0,4		0,0	4,6		
		- 2,0	- 7,2			- 6,8	- 7,6
75,226	- 1,6	- 5,2		- 4,7	3,5		
		3,6	4,0			- 1,6	- 1,6
104,774	- 1,6	0,4		5,3	1,3		
		- 2,0	- 1,6			- 6,8	- 1,6
75,226	- 1,6	0,4		4,6	3,4		
		- 2,0	- 7,2			- 7,5	- 6,8
104,774	- 1,6	- 5,2		- 5,3	1,3		
		3,6	4,0			- 1,6	- 1,6
75,226	- 1,6	0,4		4,7	3,6		
		- 2,0					

REIVINDICAÇÕES

1. Laminado retroreflexivo, caracterizado pelo fato de compreender uma fileira de elementos de vértice de cubo de geometria preferida, tendo faces definidas por um conjunto de sulcos laterais, em que pelo menos dois sulcos dentro do conjunto serem não-paralelos, em valores variando de mais do que nominalmente paralelo a cerca de 1°.
- 5 2. Laminado retroreflexivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os elementos compreendem uma dimensão lateral menor que 0,5 mm.
- 10 3. Laminado retroreflexivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os elementos compreendem uma dimensão lateral menor que 0,25 mm.
4. Laminado de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de os sulcos compreenderem obliquidade.
- 15 5. Laminado de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de um primeiro sulco compreender obliquidade positiva e um segundo sulco compreender obliquidade negativa.
6. Laminado de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a obliquidade de um primeiro sulco variar em magnitude da obliquidade de um segundo sulco.
- 20 7. Laminado de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de os sulcos compreenderem inclinação.
8. Laminado de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de um primeiro sulco compreender uma inclinação positiva e um segundo sulco compreender uma inclinação negativa.
- 25 9. Laminado de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a inclinação de um primeiro sulco variar em magnitude da inclinação de um segundo sulco.
10. Laminado de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de os sulcos laterais compreenderem obliquidade e inclinação.

11. Laminado de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de cada um dos elementos ter uma primeira face e as primeiras faces definirem uma face de sulco primário.



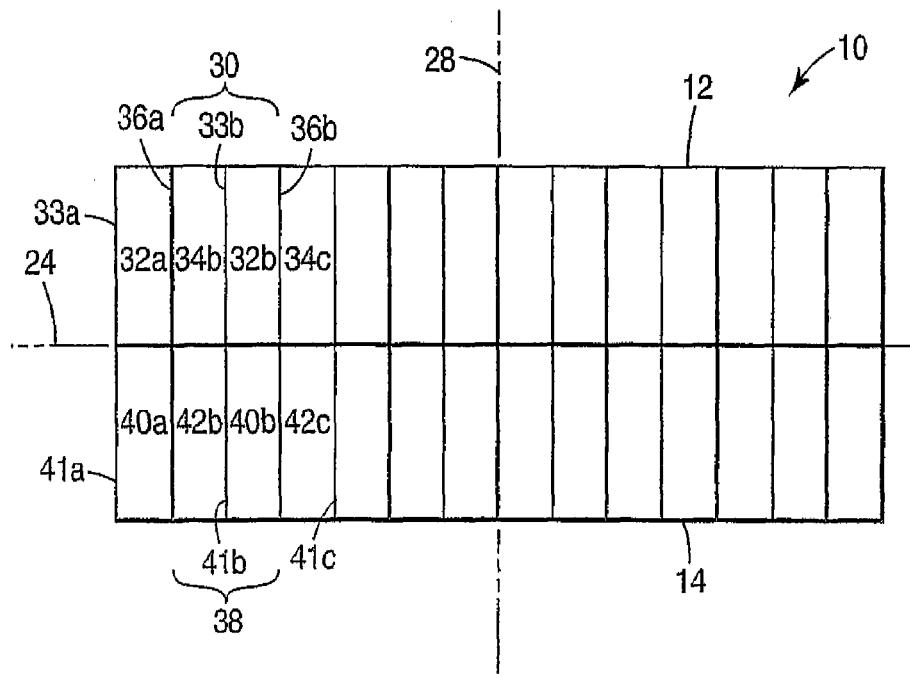


Fig. 4

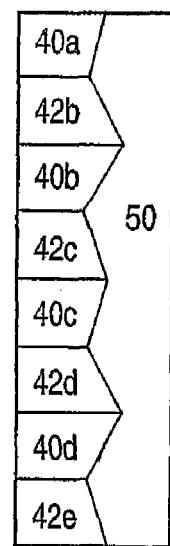
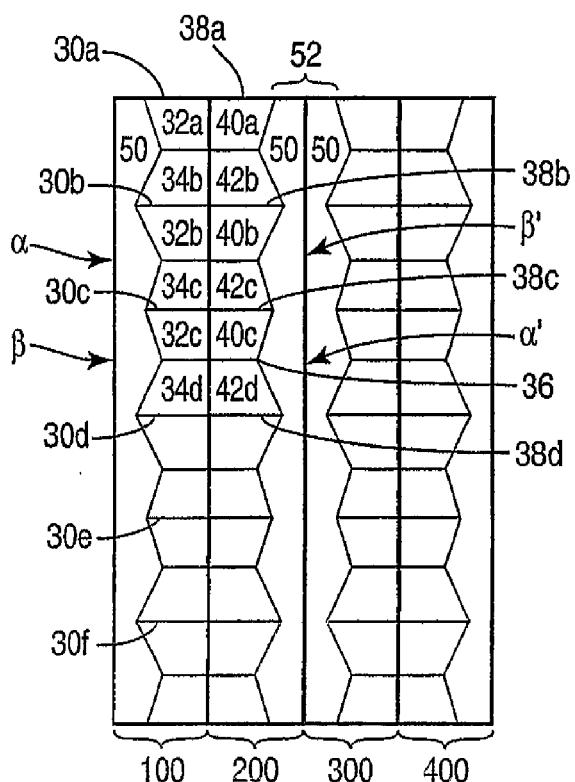
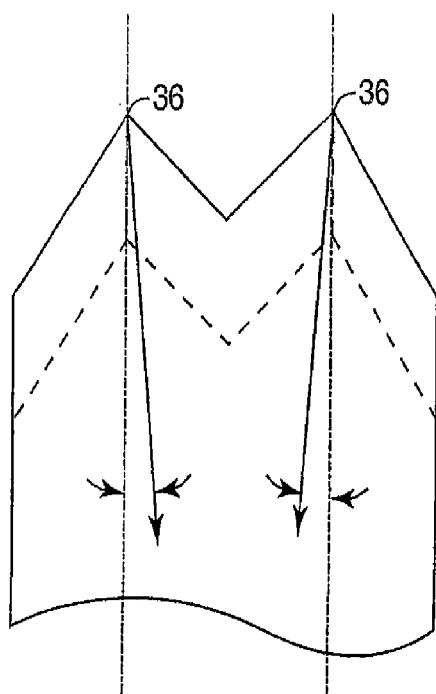
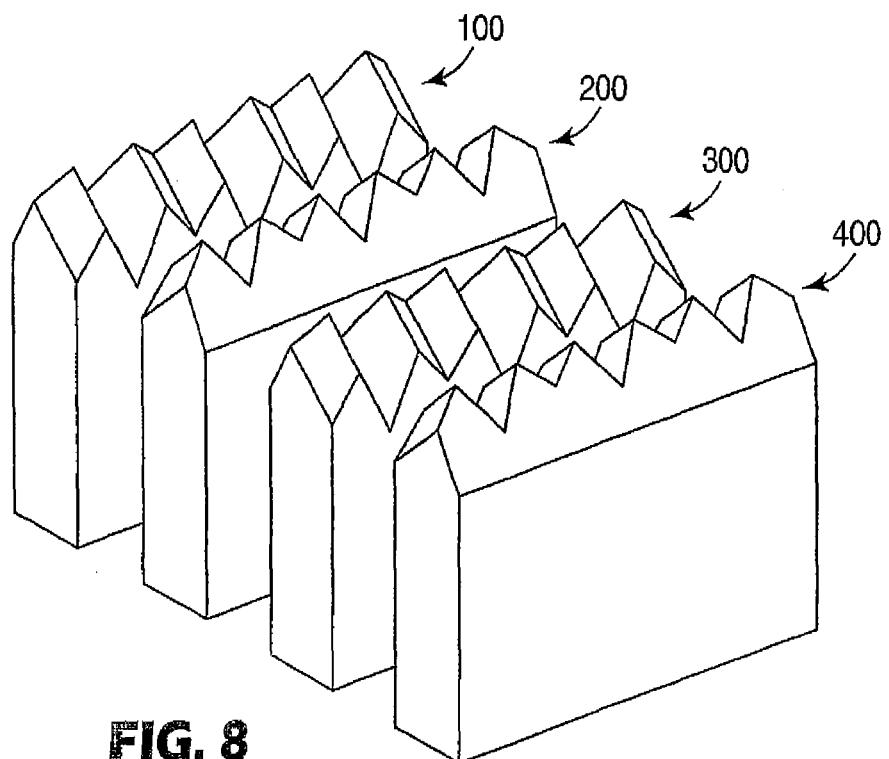
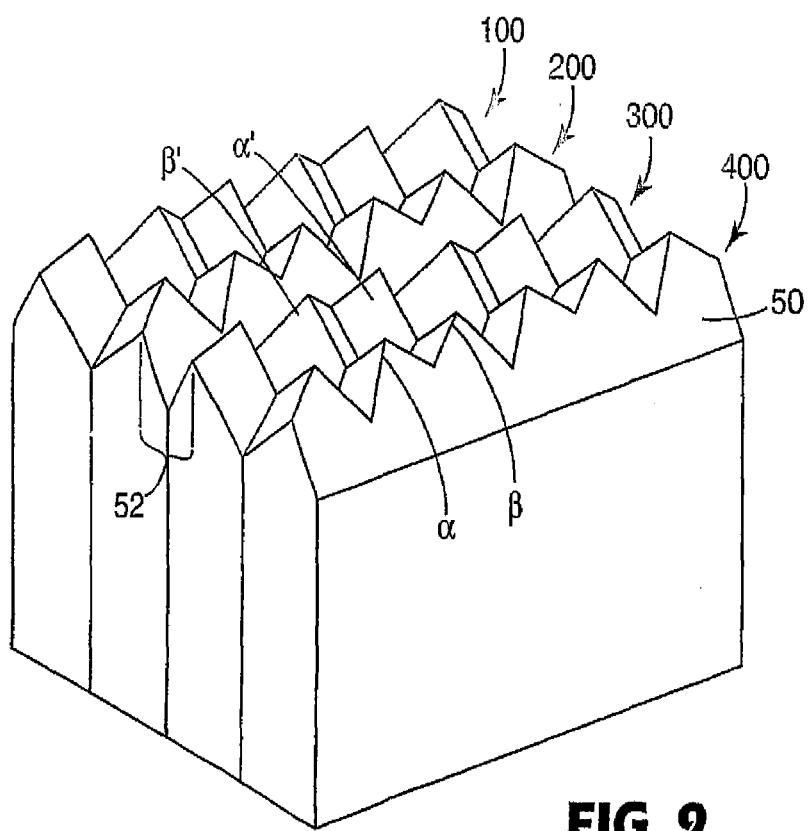
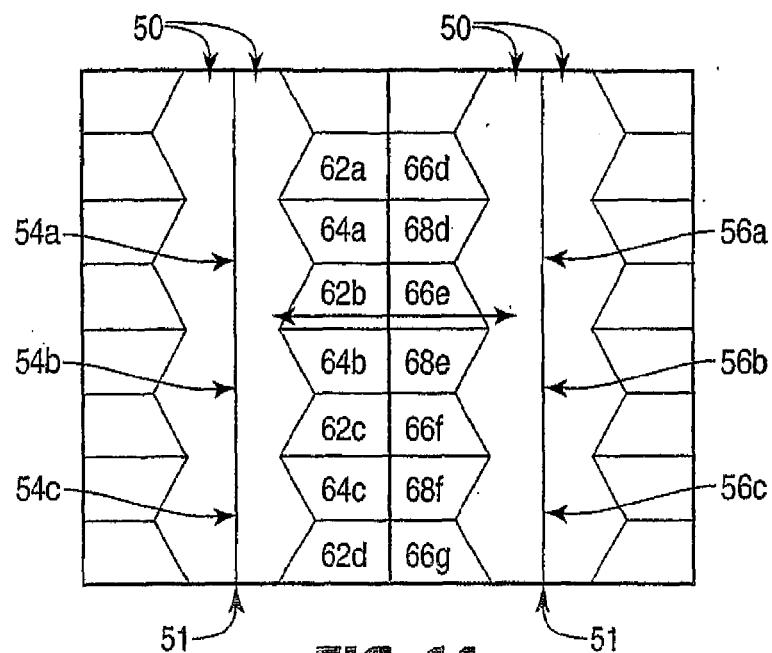


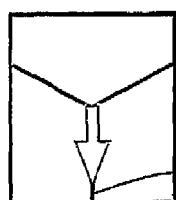
FIG. 5

**FIG. 6****FIG. 7**

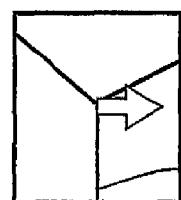
**FIG. 8****FIG. 9**

**FIG. 11**

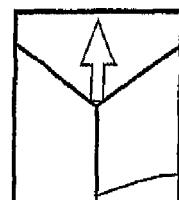
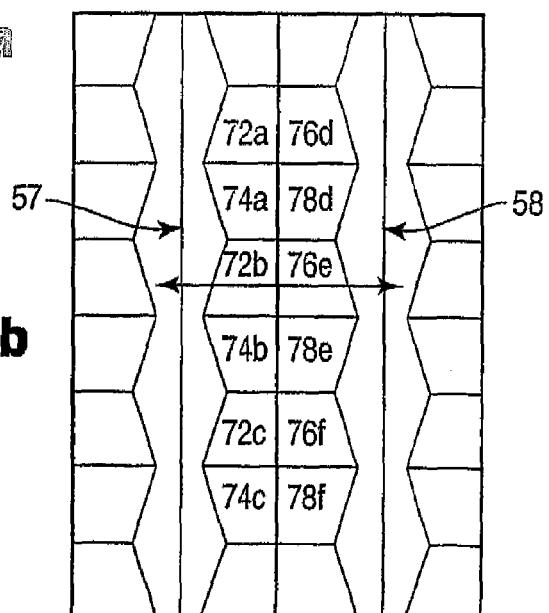
PARA TRÁS

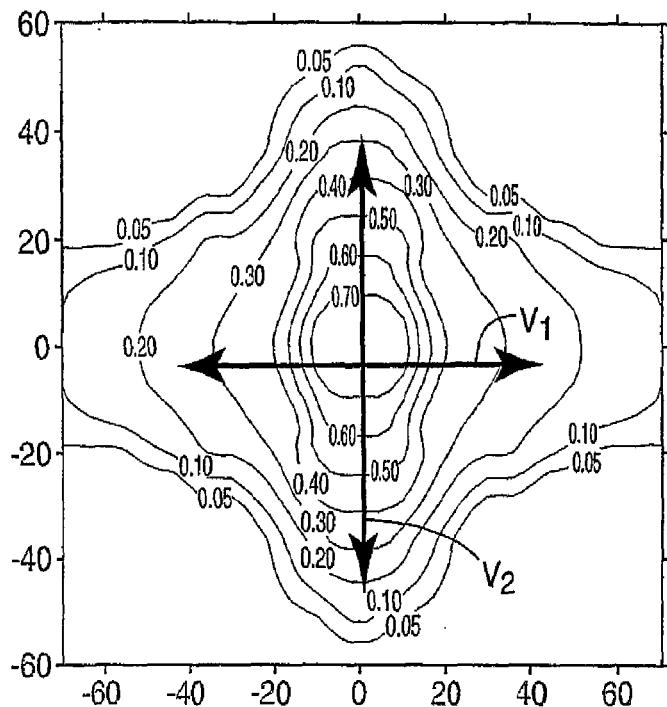
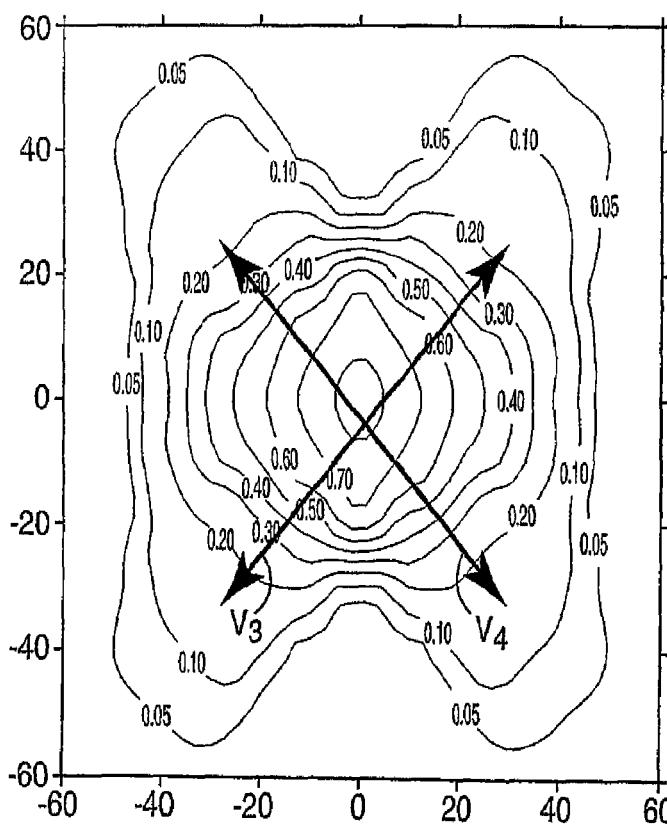
**FIG. 10a**

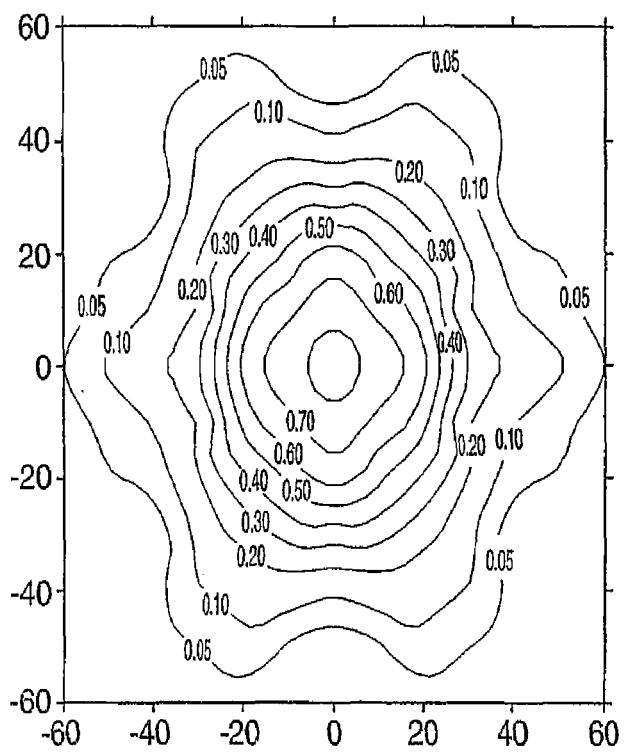
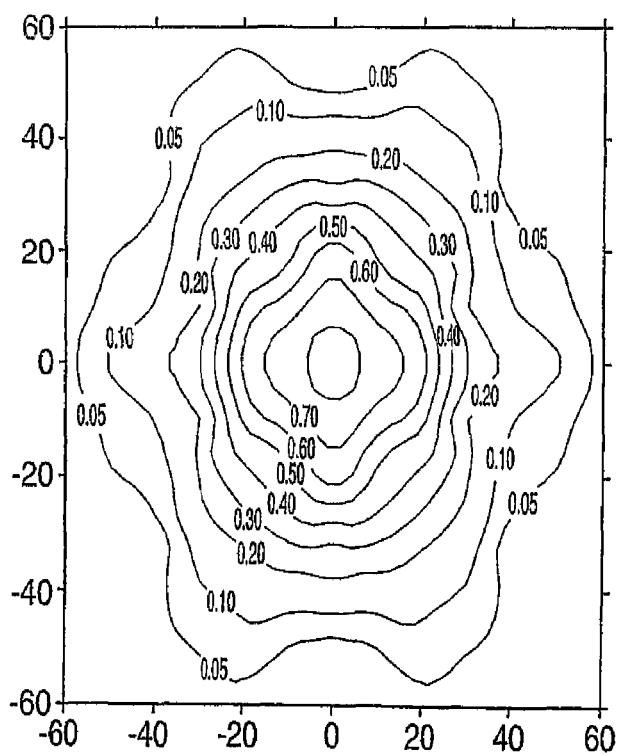
LATERALMENTE

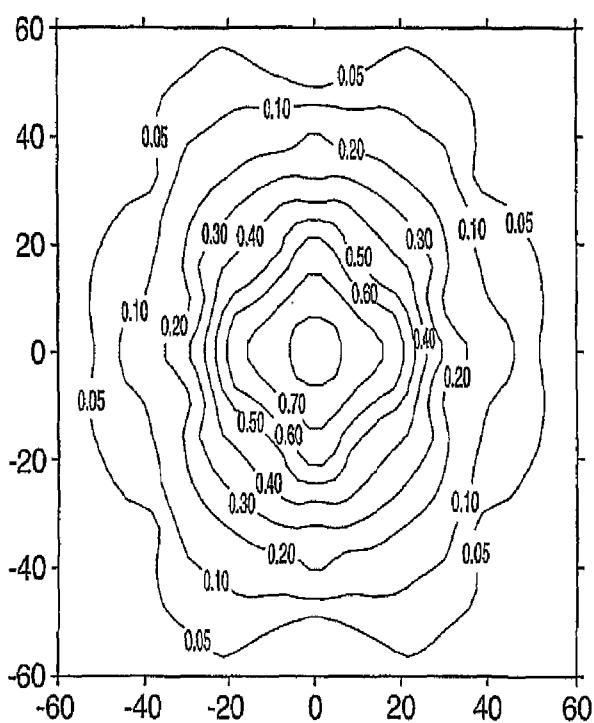
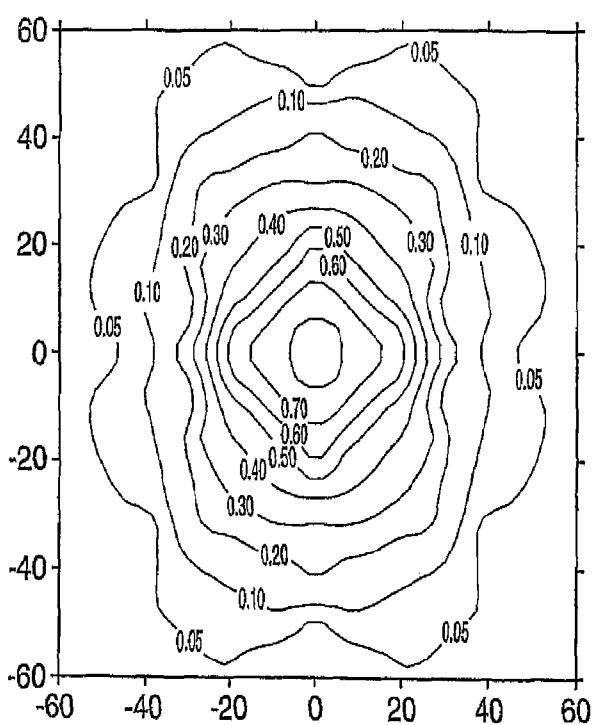
**FIG. 10b**

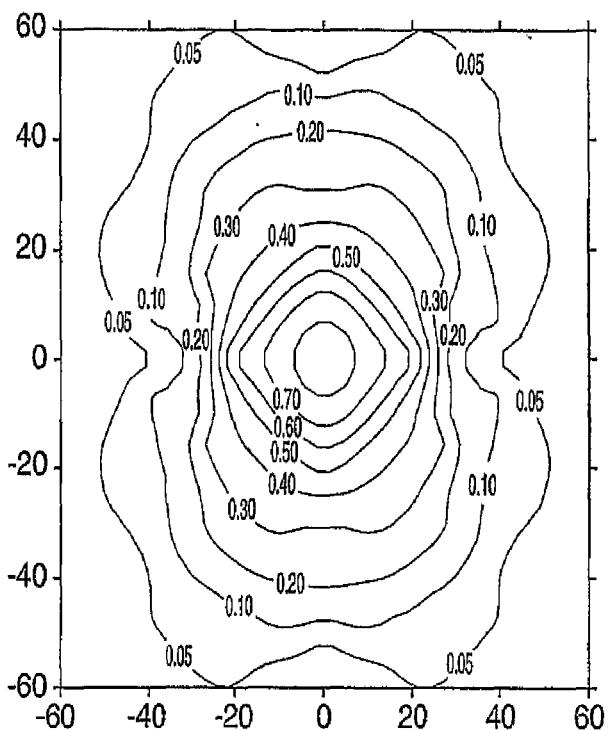
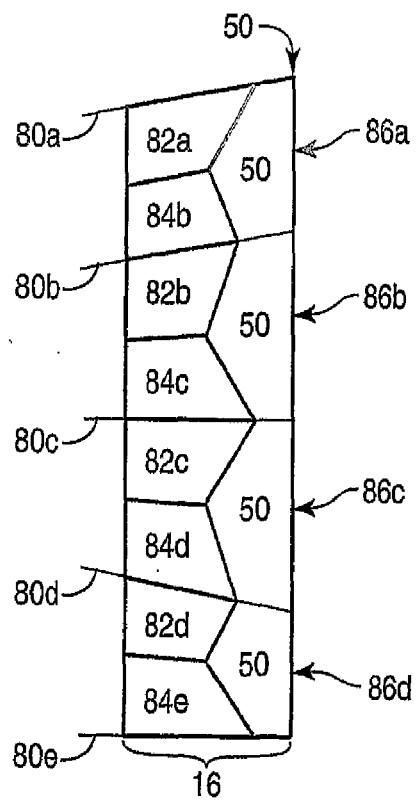
PARA FRENTE

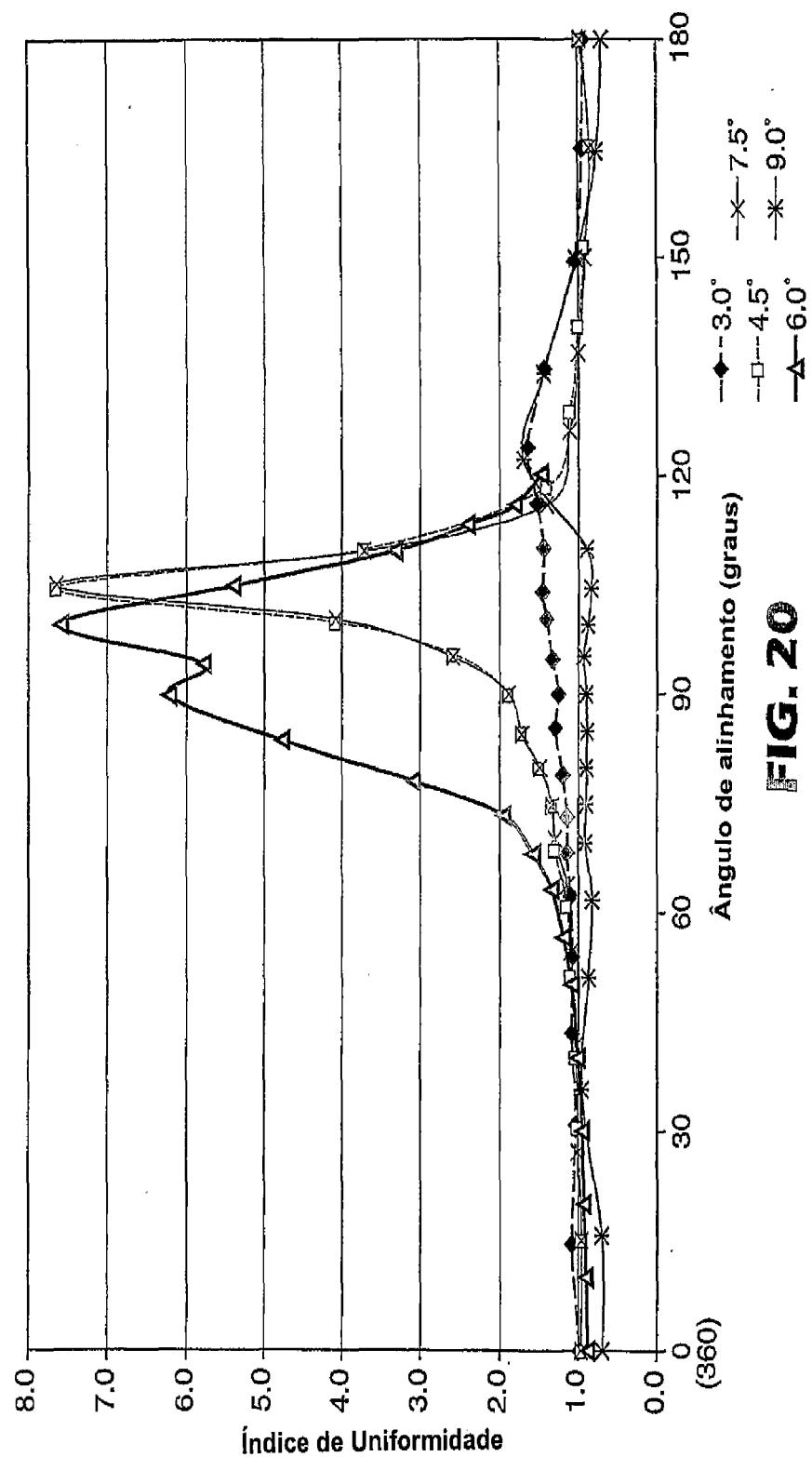
**FIG. 10c****FIG. 12**

**FIG. 13****FIG. 14**

**FIG. 15****FIG. 16**

**FIG. 17****FIG. 18**

**FIG. 19****FIG. 21**

**FIG. 20**

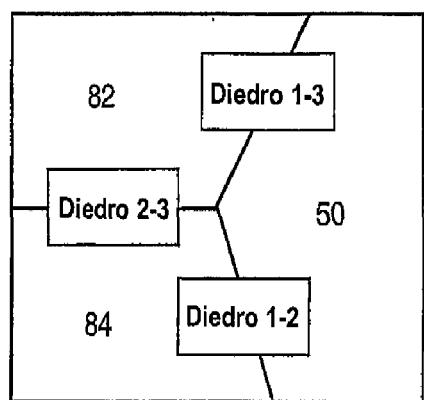


FIG. 22

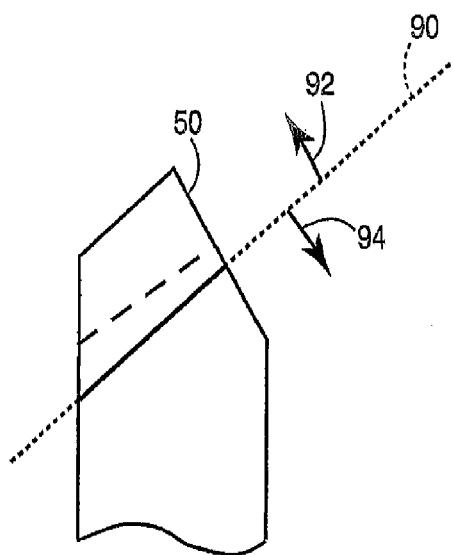
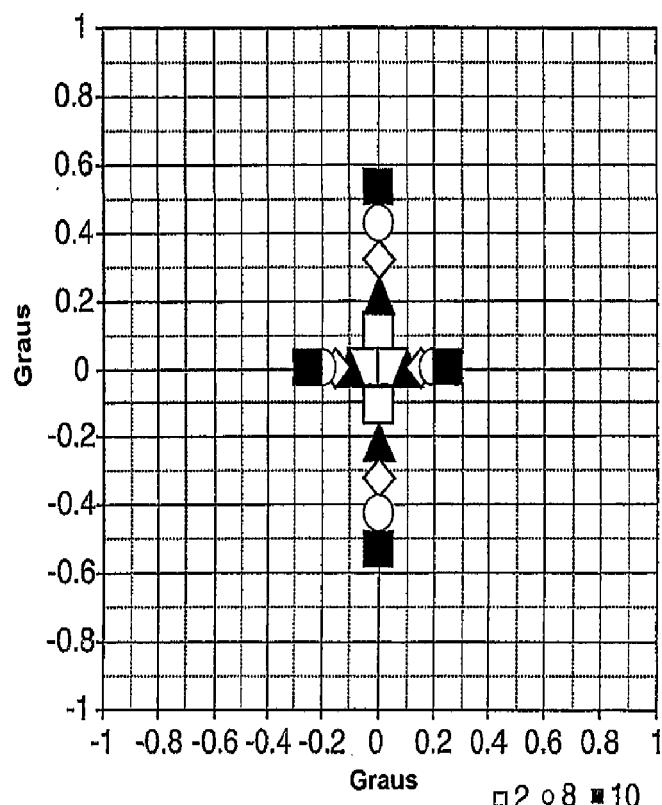
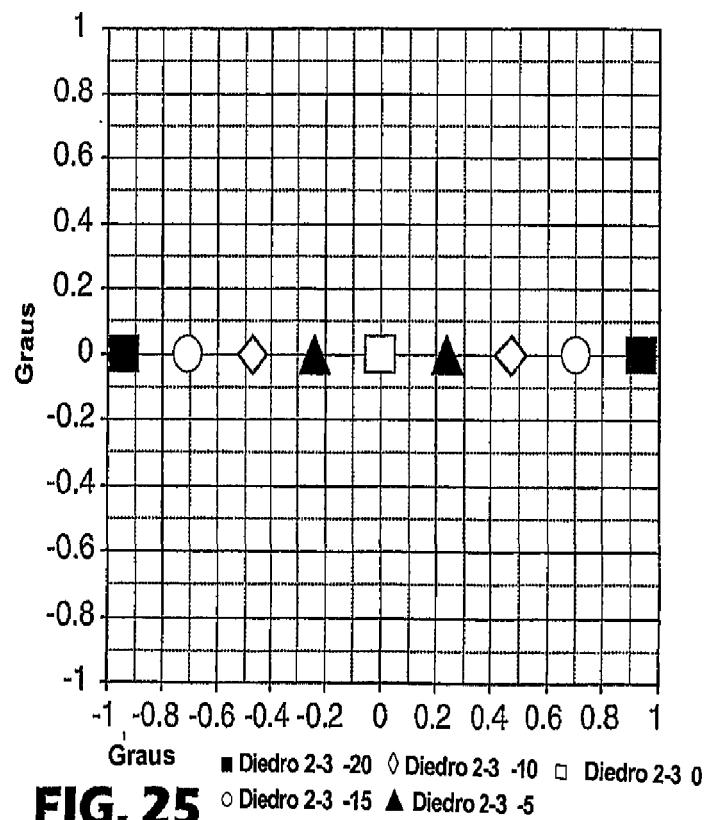
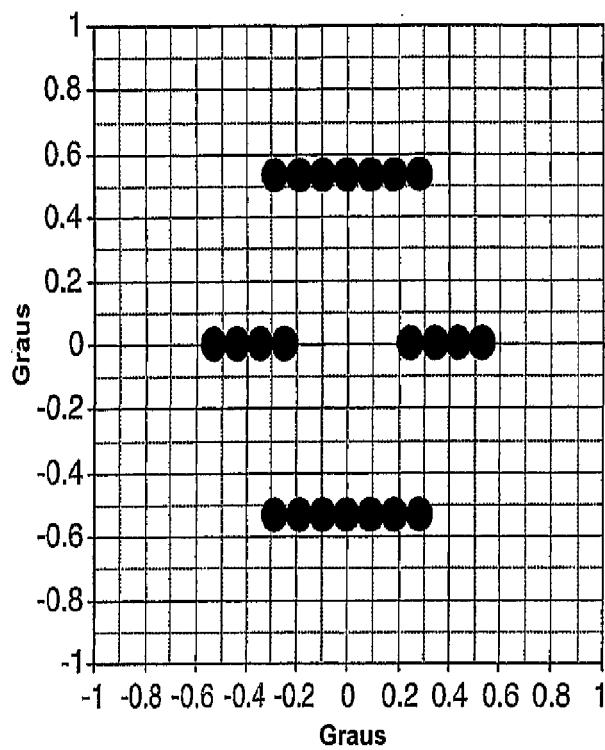
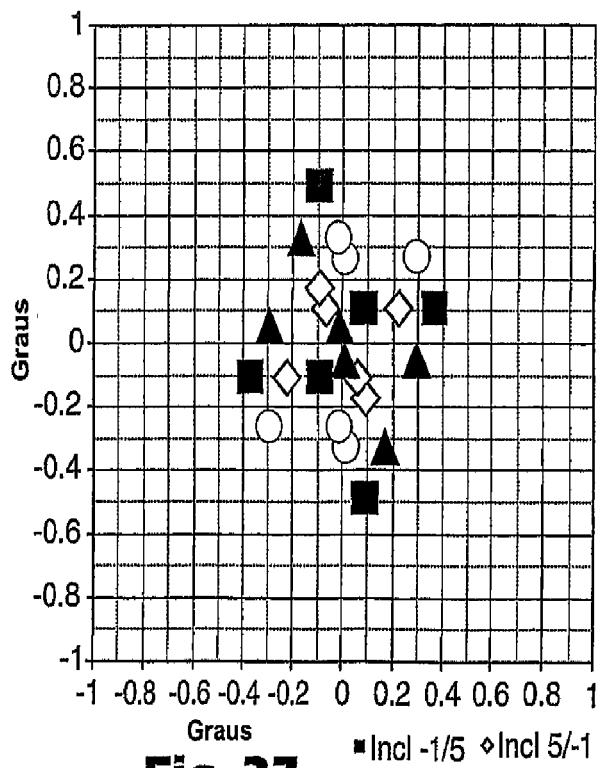


FIG. 23

**FIG. 24****FIG. 25**

**Fig. 26****Fig. 27**

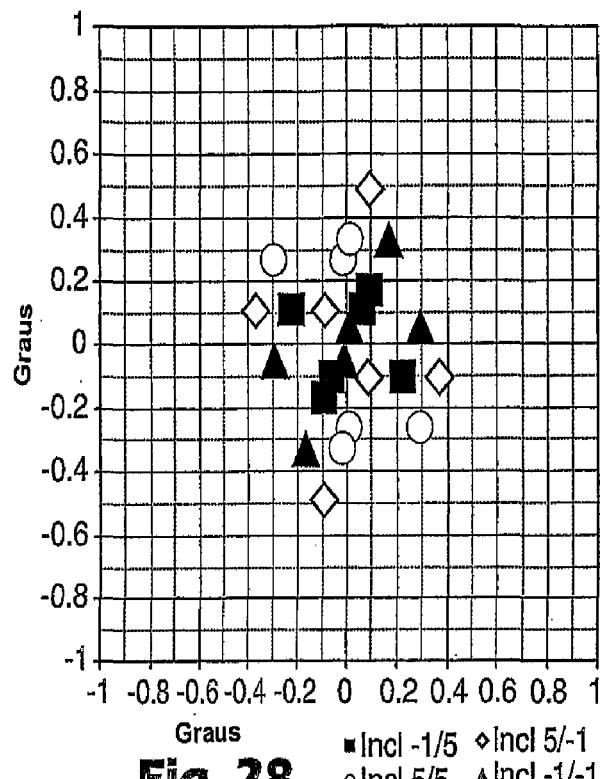


Fig. 28

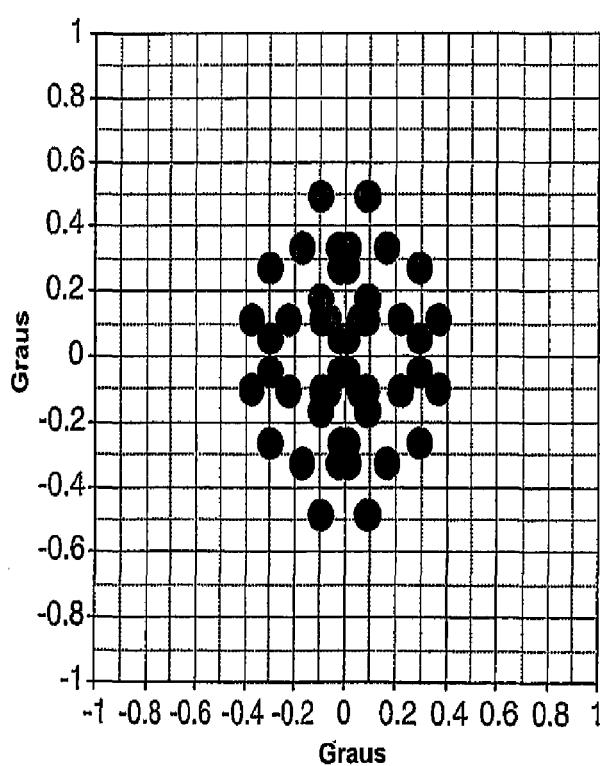


Fig. 29

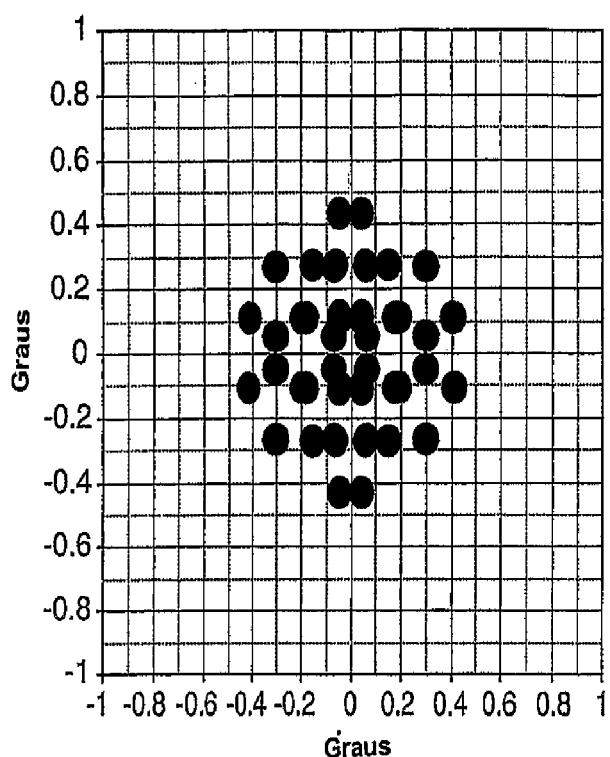


Fig. 30

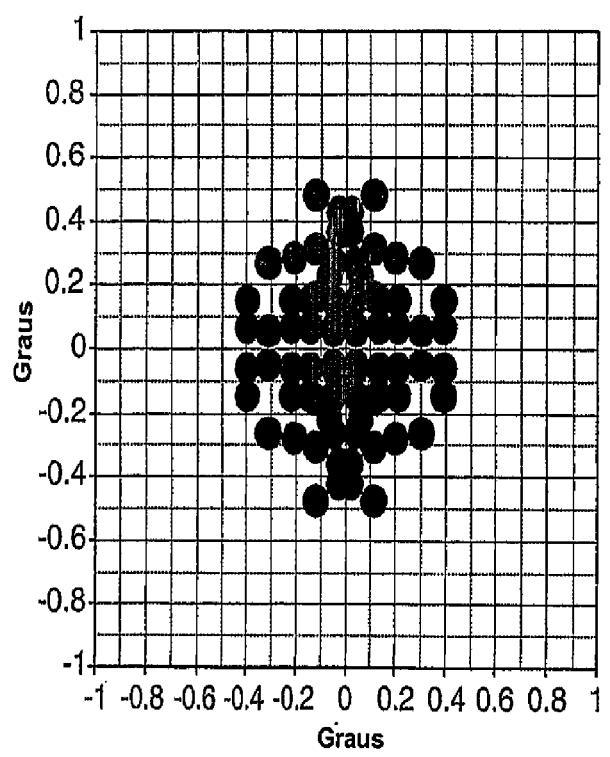


Fig. 31