



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

(21) **PI0709785-9 A2**

(22) Data de Depósito: 18/04/2007  
(43) Data da Publicação: 26/07/2011  
(RPI 2116)



(51) *Int.Cl.:*  
G02C 7/04 2006.01

(54) Título: **LENTE OPTÁLMICA DIFRATIVA MULTIFOCAL ASFÉRICA**

(30) Prioridade Unionista: 31/07/2006 US 11/496,894,  
08/05/2006 US 60/798,518

(73) Titular(es): Valdemar Portney

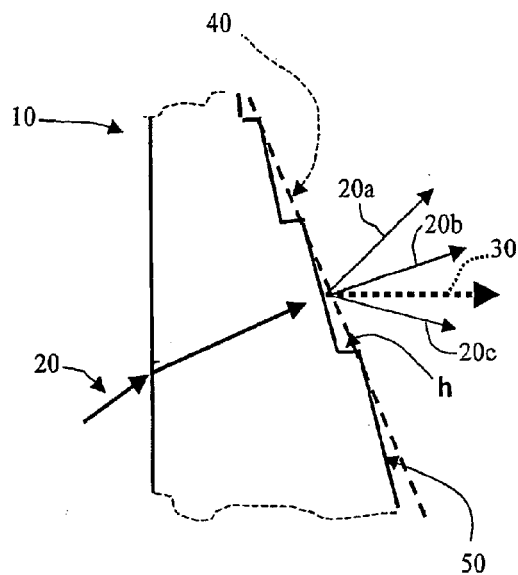
(72) Inventor(es): Valdemar Portney

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler &  
Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT US2007009543 de 18/04/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/133384 de 22/11/2007

(57) Resumo: **LENTE OPTÁLMICA DIFRATIVA MULTIFOCAL ASFÉRICA** Uma lente oftálmica multifocal inclui um elemento de lente tendo uma superfície anterior e uma superfície posterior, uma zona refrativa, ou superfície de base tendo asféricamente produzidos capacidades multifocais dispostos em uma das superfícies anteriores e posteriores; e um difrativa defoco próxima zona multifocal disposta em uma das superfícies anteriores e posteriores.





Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**LENTE OF-TÁLMICA DIFRATIVA MULTIFOCAL ASFÉRICA**".

O presente pedido reivindica prioridade do Pedido Provisório dos Estados Unidos da América S.N. 60/798,518 arquivado em 8 de maio de 5 2006, este pedido referenciado sendo incorporado aqui em sua totalidade por esta referência específica a ele.

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção se refere genericamente a lentes oftálmicas multifocais, e mais particularmente a lentes multifocais que fornecem capa- 10 ciedades difrativas com vista intermediária melhorada associada com a profundidade aumentada do foco em vista distante.

FUNDAMENTO DA INVENÇÃO

A lente oftálmica é definida como uma lente adequada para co- 15 locar sobre o olho ou dentro do. Também são incluídas lentes de correção de vista menos comum como córneas artificiais e implantes de córneas lamelares. Existe um esforço significativo para desenvolver uma lente para correção de presbiopia em uma forma de lentes de tipo refrativa ou difrativa.

Uma lente de capacidade única fixa fornece boa qualidade de 20 vista mas somente dentro de uma pequena faixa de distâncias visuais de objeto que é normalmente significativamente mais estreita do que a faixa requerida para vista de perto a distante. Um tipo melhorado de implante, a assim "blaze" da lente bifocal ou multifocal, fornece várias capacidades. A referência a terminologia bifocal ou multifocal é usada neste de modo inter- 25 cambiável. A lente oftálmica multifocal pode fornecer capacidades refrativas, capacidades difrativas ou uma combinação de ambas para a faixa de vista requerida.

Embora as lentes refrativas tenham sido as primeiras a serem 30 desenvolvidas elas podem ser interpretadas como um estado específico da ótica difrativa e pode ser mais apropriado endereçar uma definição de ótica difrativa no sentido de descrever tipos de superfícies refrativas e difrativas. Uma lente difrativa consiste geralmente em várias zonas de superfície anula- res de área igual, assim "blaze" das de zonas ou estrias de tipo de Fresnel.

Os passos óticos são fornecidos entre as zonas adjacentes que seguem a regra específica aqui abaixo descrita. Se os tamanhos de passo são zero ou são dimensionados aleatoriamente ou áreas de estria são também aleatoriamente dimensionadas, a lente se torna um tipo refrativo, i.é. as localizações de imagem correspondente são definidas pela lei de Snell.

Uma lente difrativa pode ser considerada como uma combinação de lente refrativa formada por tamanho de passo zero, "blaze" da de curva de base, e gradeamento de fase, veja a FIG. 1. Um gradeamento de fase pode ser formado por tipos diferentes de formas de zona ou estria onde a forma de "blaze" mostrada na FIG. 1 é a mais comum. Deste modo, uma forma de "blaze" é cortada em uma superfície refrativa de base para introduzir um gradeamento de fase, i.é, um conjunto periódico de regiões de difusão ótica.

Difundindo luz em todas as direções pela estrutura periódica cria interferência construtiva e destrutiva de luz em ângulos diferentes mas específicos dependendo do comprimento de onda da luz que são "blaze" das de ordens. O correspondente comprimento de onda de luz usada para projetar o gradeamento de fase é "blaze" do de comprimento de onda de projeto.

As direções das ordens e localizações de imagem correspondentes são definidas pela fórmula de Grating, não a lei de Snell. A capacidade difrativa de ordem zero coincide com a capacidade da superfície refrativa formada pela curvatura de base e, então, livremente "blaze" da de capacidade refrativa da lente difrativa. O ponto chave para o gradeamento executar, i.é, formar ordens de difração distintas, é ter áreas iguais de zonas de Fresnel (estrias) e Diferenças de Caminho Ótico igual entre zonas adjacentes em suas bordas (OPDb) na direção de cada ordem de difração.

De acordo com a natureza da onda de luz, a interferência construtiva de luz de diferentes regiões de gradeamento acontece se a luz está em fase no plano de imagem correspondente. A interferência construtiva se manteria se a luz de uma das regiões é deslocada pela fase plena igualada ao número inteiro do comprimento de onda de projeto. Por exemplo, ordem zero corresponde à direção original da luz produzida pela curva de base refrativa, i.é, deslocamento de fase zero entre a luz que vem de cada zona de

"blaze" adjacente, 1ª ordem se é produzido pelo deslocamento de fase de um comprimento de onda entre cada "blaze" adjacente, 2ª ordem se é produzido pelo deslocamento de fase de dois comprimentos de onda entre cada "blaze" adjacente, e assim por diante. O período de gradeamento ou espaçamento de zona de "blaze" determina um ângulo da dada ordem difrativa, i.é, o comprimento focal correspondente ou capacidade difrativa da dada ordem de difração.

Pela definição da ordem de difração, a luz somente pode ser canalizada ao longo das ordens difrativas da lente difrativa, i.é, canais discretos, mas o percentual da luz total disponível que é realmente canalizada para uma dada ordem difrativa depende do deslocamento de fase da luz introduzido por cada zona de "blaze", i.é, a espessura do material (h) de "blaze", veja a FIG.1. O percentual da luz total em uma dada ordem é "blaze" da eficiência de difração desta ordem. Em termos gerais pode ser "blaze" da transmitância de luz para a dada ordem.

De acordo com o "modelo geométrico" do gradeamento pode ser alcançado 100% de eficiência (transmitância de luz) na ordem-m se a direção do raio de "blaze" definido pela refração na "blaze" coincide com a direção da difração de ordem m, (Carmiña Londoño e Peter Clack, Modeling diffraction effects when designing hybrid diffractive lens systems, Appl. Opt. 31, 2248 – 2252 (1992)). Significa simplesmente que a espessura de material de "blaze" é selecionada para direcionar o raio de "blaze" ao longo da difração de ordem m produzida pelo espaçamento de zona de "blaze" para o comprimento de onda de luz de projeto.

O "modelo geométrico" fornece uma explicação simples da estrutura de lente difrativa que é importante em uma descrição da presente invenção, em vez de contar com a matemática de função de fase, função de transmissão e sua série de Fourier para calcular eficiências difrativa e resolver a integral de difração para distribuição de intensidade.

Por exemplo, se o raio de "blaze" é refratado ao longo da direção média entre ordem zero e ordem (-1), então a eficiência difrativa é igualmente dividida entre as ordens zero (-1) e a altura de "blaze" resultante

é metade da requerida para 100% eficiência na ordem (-1). Ainda alguém tem que ir através do processo formal de cálculo para determinar que a eficiência de ordem (-1) e de ordem zero é igual a 40.5% para o comprimento de onda de projeto para a estrutura de lente difrativa correspondente, e o resto da luz direcionada ao longo de ordens maiores de difração. Em termos da terminologia, pode-se estabelecer que cada transmitância de luz para difração de ordem zero e difração de ordem (-1) é igual a 40.5%.

Escolhendo o espaçamento de "blaze" apropriada ( $r_j$ ) e a espessura de material de "blaze" ( $h_m$ ) como colocado aqui abaixo, pode-se produzir lente difrativa do comprimento focal apropriado ( $f_m$ ) requerida pela aplicação de lente oftálmica.

Em uma forma paraxial simples as zonas de gradeamento circular, também "blaze" das "echelettes" ou perfil de alívio de superfície ou estrias, podem ser expressas pela fórmula  $r_j^2 = jm\lambda f$ , i.é, o comprimento focal da difração de ordem  $m$  ( $m=0, \pm 1, \pm 2$ , etc) para o comprimento de onda de projeto ( $\lambda$ ) pode ser aproximado pela seguinte fórmula:

$$f_m = r_j^2 / jm\lambda \quad (1)$$

Na aproximação paraxial a espessura de material de "blaze" para produzir eficiência 100% na ordem  $m$  é

$$h_m = m\lambda / (n-n')(2)$$

onde  $n$  = índice refrativo do material de lente e  $n'$  = índice refrativo do meio circundante.

Uma superfície difrativa pode ser formada por formas diferentes da estrutura difrativa periódica e não só pela forma de "blaze" específica e para a generalidade desta invenção o termo "estria" é usado como a descrição da variedade de formas da estrutura difrativa.

A Pat. U.S. No. 5,096,285 por Silberman descreve a superfície difrativa com 100% de eficiência para fornecer a capacidade difrativa única e a invenção não utiliza a vantagem principal da ótica difrativa para usar várias ordens de difração (zero e -1, ou +1 e -1, etc.) para reduzir dependência de pupila do desempenho de lente oftálmica bifocal.

A Pat. U.S. No. 20050057720 por Morris descreve também su-

perfície difrativa de 100% de eficiência com a utilização de superfície difrativa de multiordem (MOD), i.é, as zonas tendo condição de limite de deslocamento de fase pelo comprimento de onda múltiplo para fornecer eficiência difrativa semelhante para a faixa de comprimentos de onda em vez de somente para o comprimento de onda de projeto.

Cohen e Freeman são os inventores principais da ótica difrativa multifocal oftálmica que utiliza várias ordens difrativa para formar imagem dos objetos a distâncias diferentes. As patentes de Cohen: Pat. U.S. Nos. 4,210,391; 4,338,005; 4,340,283; 4,881,805; 4,995,714; 4,995,715; 10 5,054,905; 5,056,908; 5,117,306; 5,120,120; 5,121,979; 5,121,980 e 5,144,483. As patentes de Freeman: Pat. U.S. Nos. 4,637,697; 4,641,934; 4,642,112; 4,655,565, 5,296,881 e 5,748,28 onde a Pat. U.S. No. 4,637,697 faz referências à "blaze" bem como à superfície difrativa de forma de passo (binário)

15 Outras patentes sobre lentes difrativas foram concedidas a Futhy: Pat. U.S. No. 4,830,481, 4,936,666, 5,129,718 e 5,229,797; Taboury: Pat. U.S. No. 5,104,212; Isaacson: Pat. U.S. No. 5,152,788; Simpson: Pat. U.S. No. 5,076,684 e 5,116,111 e Fiola: Pat. U.S. No. 6,120,148 e 6,536,899.

20 Swanson na Pat. U.S. No. 5,344,447 descreve lente tri-focal usando perfil de superfície difrativa de tipo binário. Kosoburd na Pat. U.S. No. 5,760,871 descreve também lente tri-focal com "blaze" e perfis binários.

Várias patentes descrevem o tamanho de passo variável entre as zonas adjacentes da estrutura difrativa para controlar transmitância de luz em diferente ordens de difração com tamanho de pupila: Pat. U.S. No's 25 4,881,805 e 5,054,905 por Cohen descrevem a assim chamada lente bifocal de intensidade progressiva onde o tamanho de passo nas zonas adjacentes reduzidas em direção à periferia para deslocar a parte maior de luz em direção à imagem de difração de ordem zero (foco distante), i.é. para controlar transmitância de luz para a ordem dada com diâmetro de pupila. Baude et al 30 na Pat. U.S. No. 5,114,220 divulga uma lente oftálmica que compreende caracteristicamente pelo menos duas regiões concêntricas tendo componentes

difrativos com perfis de fase diferentes no sentido de usar ordens de difração diferentes. Lee et al na Pat. U.S. No. 5,699,142 incorpora um conceito semelhante na assim chamada lente apodizada recomendando a redução específica em alturas de "echelettes", assim chamada apodização das alturas "echelettes" de superfície difrativa, para dividir a luz inicialmente igualmente entre os focos Distante e Próximo (40.5% de eficiência para cada) e eles, as alturas reduzem em direção à periferia da lente para deslocar parte maior de luz em direção ao foco distante com tamanho de pupila maior, i.é, para controlar transmitância de luz com diâmetro de pupila. Freeman na Pat. U.S No. 5,748,282 se refere também ao tamanho de passo variável para controlar a intensidade de luz entre ordens diferentes com variação de tamanho de pupila.

A Pat. U.S. No. 5,056,908 divulga uma lente de contato oftálmica com uma placa de fase e uma parte refrativa pura dentro de sua zona ótica que é colocada na periferia de área de zona de fase. A Pat. U.S. No. 5,089,023 por Swanson descreve também a lente com uma combinação de foco único refrativo e segmentos difrativos que podem ser de projeto bifocal. Em ambas as invenções a parte refrativa coincide com uma das ordens difrativas ou tanto para visão distante quanto visão próxima.

Deste modo, a ótica difrativa oferece a vantagem de realizar independentemente do diâmetro de pupila. Comum a todos os projetos das patentes citadas é o fato de que uma lente difrativa bifocal é carente de visão intermediária. Foi mostrado que lente difrativa bifocal demonstra duas intensidades distintas à dois focos para visão distante e próxima (Golub MA, et al, Computer generated diffractive multi-focal lens. J. Modern Opt., 39, 1245-1251 (1992), Simpson MJ. Diffractive multiocular lens image quality. Appl. Optics, 31, 3621-3626 (1992) e Fiala W e Pingitzer J. Analytical approach to diffractive multifocal lenses. Eur. Phys. J. AP 9, 227-234 (2000)). Uma presença de alguma visão intermediária reportada clinicamente pode ser atribuída às aberrações do sistema ocular de um dado sujeito e não ao projeto de lente em si mesmo.

A Pat. U.S No'5,864,374 ; 6,024,447 e 6,126,286 por Portney

divulga lente oftálmica monofocal refrativa com uma profundidade aumentada de foco como uma combinação de diferentes capacidades corretivas. A pat. U.S. No. 6,923,539 por Simpson divulga também lentes oftálmicas refrativas monofocais que exibem profundidade estendida de campo. A patente  
5 fornece um exemplo de perfil de superfície.

A lente difrativa multifocal de Tecnis por Advanced Medical Optics é do projeto com superfície esférica de um foco distante colocado na superfície frontal da lente e estrutura difrativa multifocal para formar focos distante e próximo é colocada na superfície trazeira da lente. O objetivo do  
10 projeto multifocal de Tecnis é melhorar o contraste de imagem da visão distante em pupilas grandes acima de 4 mm de diâmetro reduzindo a aberração ótica do Olho implantado com lente difrativa multifocal de Tecnis. O Pedido de Pat. U.S.No. 2006/0116764 por Simpson descreve uma lente difrativa multifocal esférica com uma superfície esférica servindo como superfície de  
15 base da superfície difrativa multifocal. Óticamente não importa que a superfície é asferizada, refrativa ou superfície de base difrativa para visão distante porque uma estrutura difrativa multifocal interage com uma frente de onda resultante por uma combinação de ambas as superfícies e não importa qual é asferizada para redução de aberração. Então, o resultado do projeto é se-  
20 melhante a um da multifocal Tecnis para corrigir para aberrações de olho e, como resultado, melhorar contraste de imagem da visão distante em pupila grande. O pedido de Pat. U.S. No. 2006/0116764 por Simpson incluiu também projeto multifocal difrativo apodizado como uma característica adicional para controlar a distribuição de luz entre os focos distante e próximo.

25 Nem o projeto de Tecnis nem o projeto de Simpson descreve superfície multifocal esférica em combinação com projeto difrativo multifocal para estender Profundidade de Foco em visão distante ou fornecer focos intermediários em adição aos focos distante e próximo. Então, as lentes correspondentes são carentes de atributos importantes da ótica oftálmica multi-  
30 focal:

(a) foco intermediário (visada de uma tela de computador, por exemplo) e

(b) baixa sensibilidade para um erro refrativo já que o desempenho da lente não deve cair significativamente com pequeno desalinhamento de lente ou erro de cálculo de capacidade. Ambos os projetos de Tecnis e Simpson tem sensibilidade alta para um erro refrativo devido à Profundidade de Foco estreita para foco distante associado com a redução da aberração de olho. Uma redução em aberrações melhora a qualidade de visão (contraste de imagem) no foco de imagem mas um pequeno desvio desta posição de foco ideal reduz rapidamente a qualidade de imagem. Tal desempenho poderia ser satisfatório para vista próxima onde um sujeito pode controlar a distância para visada do objeto para ajustar para melhor posição de foco mas é prejudicial para a visão distante devido a erros refrativos pequenos ocorridos comumente e onde a correção exigiria óculos ou lentes de contato.

Na Pat. U.S. 7,073,906 para Portney é colocada multifocalidade de uma lente difrativa esférica em uma zona refrativa internamente á uma zona difrativa. "Multifocalidade" é definida como uma presença de foco intermediário em adição a focos distantes ou tendo uma faixa de focos que inclui foco distante para expandir a Profundidade de Foco (DOF) em torno do foco distante. A presente invenção fornece para multifocalidade até uma periferia da zona difrativa multifocal.

Em outras palavras, a multifocalidade é estendida de estar dentro de uma zona difrativa anular para uma borda periférica de zona difrativa. Conseqüentemente, um método de acordo com a presente invenção inclui cálculo de estrutura difrativa de superfície no sentido de produzir difração de ordem (-1) para foco próximo que é distinto das definições usadas pela técnica anterior.

O objetivo da presente invenção é fornecer uma lente difrativa multifocal com a habilidade de oferecer uma visão cobrindo focos distante, intermediário e próximo. Os focos podem fornecer visão contínua cobrindo distante, intermediária e próxima. O ultimo caso fornece uma visão naturalmente ocorrida semelhante a uma através de um "pin-hole" onde uma pessoa pode observar objetos continuamente de distâncias distantes até próxi-

mas mas sem a necessidade de ter pupila pequena ("pin-hole") e, como resultado, uma quantidade muito limitada de luz alcançando a retina. A expectativa do desempenho de lente de acordo com a presente invenção é que a característica das imagens dos objetos em todas as distâncias de distante até próxima sejam naturalmente ocorridas ("pin-hole", por exemplo) e inibiria um mínimo de fantasmas e halos comumente observados com os tipos atuais de lentes oftálmicas multifocais refrativas e difrativas.

O objetivo relacionado desta invenção é para fornecer lente difrativa multifocal com profundidade de foco estendida (DOF) em imagem distante no sentido de aumentar tolerância de visão distante para pequenos erros refrativos. Isto se refere a introdução de um foco intermediário em adição ao focos próximo e distante comumente utilizados em projetos óticos multifocais difrativos da técnica anterior.

#### RESUMO DA INVENÇÃO

Uma lente de acordo com esta invenção consiste em superfícies frontal e trazeira. A lente inclui zona difrativa multifocal (estrutura difrativa) para criar uma ótica multifocal para focos próximos e distantes superfície multifocal na outra superfície da lente, assim "blaze" da "superfície oposta" que inclui focos intermediários em adição aos focos distantes ou faixa de focos distantes incluindo o foco distante. Outra versão desta invenção inclui zona difrativa multifocal que produz foco próximo com superfície de base multifocal da estrutura difrativa que produz focos intermediários em adição aos focos distantes ou faixa de focos distantes incluindo o foco distante. Esta superfície oposta multifocal ou superfície de base multifocal inclui um faixa de focos que inclui foco distante para aumentar a profundidade de foco em visão distante ou intermediária e e focos distantes no sentido de fornecer uma faixa de capacidades ou várias capacidades refrativas discretas. A forma da superfície oposta multifocal ou superfície de base multifocal pode ser esférica ou esférica discreta que aumenta profundidade de foco (DOF) em torno da visão distante ou introduz foco intermediário em adição ao foco distante.

A superfície oposta ou superfície de base pode cobrir uma zona

de superfície refrativa, i.é, a definição de "superfície oposta" ou "superfície de base" inclui toda superfície de lente até o diâmetro igual ao diâmetro da borda periférica da zona difrativa. Por exemplo, uma zona refrativa pode ocupar uma parte central da zona da lente e zona difrativa é uma coroa anular ao redor dela. A "superfície oposta" significa a superfície na superfície de lente oposta da superfície com a zona difrativa com o diâmetro igual ao diâmetro periférico da zona difrativa, i.é, a luz que passa através da superfície oposta passa também a zona refrativa central e a coroa anular difrativa. A "superfície de base" significa a superfície total da zona refrativa central e superfície associada com a curva de base da zona difrativa, i.é, a luz que passa a superfície de base passa através da zona refrativa central e coroa anular difrativa. Em terminologia ótica o resultado é uma difração de ordem zero multifocal.

A superfície esférica de acordo com a presente invenção aumenta aberrações vs. uma lente esférica correspondente incluindo várias capacidades de visão (capacidade intermediária além da capacidade distante) ou os focos difundidos em torno da melhor posição de imagem no sentido de aumentar a profundidade de foco em torno desta melhor posição de imagem. A presente invenção adiciona a esta superfície esférica uma estrutura difrativa para produzir um foco próximo em adição às capacidades multifocais esféricas.

As duas versões descritas acima são diferentes quanto à estrutura mas elas podem fornecer realmente o mesmo resultado ótico para visão distante porque seu efeito multifocal pode ser o mesmo ou a estrutura multifocal é colocada em superfície de base da lente difrativa ou a superfície que é oposta para o difrativa um. Óticamente, as interfaces de estrutura difrativa com uma frente de onda criada por ambas as superfícies (superfícies oposta e de base) para criar ordens múltiplas. Deste modo, óticamente pode-se referir à superfície oposta e superfície de base intercambiavelmente porque ambas em conjunto produzem uma frente de onda multifocal que é responsável por difração de ordem zero multifocal e que interage com a estrutura difrativa para produzir difração de ordem não-zero (normalmente ordem -1)

para foco próximo, i.é, pode-se usar qualquer um dos ambas as duas ou combinação de ambas para produzir foco intermediário em adição ao foco distante ou aumentar a profundidade de foco em torno do foco distante. Nota, ambas as superfícies, superfície oposta e de base podem ser quanto à

5 estrutura feitas superfícies multifocais mas isto aumentaria um custo de fazer a lente.

Como um assunto de terminologia nós podemos "blaze"r a lente resultante como lente difrativa esférica indiferentemente se uma estrutura multifocal é colocada na superfície de base ou superfície oposta ou ambas.

10 A estrutura difrativa apropriadamente projetada é para criar um foco próximo como difração de ordem não-zero (normalmente ordem -1) em adição à distribuição de focos criados tanto oposta à superfície de zona difrativa quanto à superfície de base da superfície difrativa servindo como difração de ordem zero. Devido a natureza de gradeamento da estrutura difra-

15 tiva canalizar luz somente ao longo do canal ordem não zero, o foco próximo resultante pode óticamente ser somente como um foco único para cada ordem de difração, i.é, a estrutura difrativa pode produzir uma frente de onda para visão próxima de uma forma de complexa (esférica ou multifocal) mas somente a luz que é focada muito perto do foco próximo forma a imagem

20 próxima e o resto da luz se difunde dentro de outras ordens deste modo reduzindo a eficiência da imagem próxima. Quer dizer que a estrutura difrativa projetada apropriadamente deve produzir uma frente de onda esférica com o centro no foco próximo onde toda luz é focada para este foco próximo para maximizar a eficiência do foco próximo. O resultado inesperado das inven-

25 ções é o método de calcular a estrutura difrativa apropriada para uma eficiência máxima para visão próxima.

A zona difrativa multifocal pode ser uma zona ou coroa anular central preferentemente dentro do faixa de diâmetros de pupila de 3 a 6 mm.

30 Deste modo, a zona difrativa multifocal esférica resultante é caracterizada por uma estrutura difrativa sobre a superfície de base multifocal esférica ou pela estrutura difrativa sobre a superfície de base esférica com a superfície oposta multifocal esférica ou uma combinação de ambas. Seria

menos caro em geral ter superfície de base multifocal e uma superfície oposta esférica porque somente uma superfície da lente se torna uma superfície especial não convencional e outra é mantida como uma superfície convencional para fabricação mais fácil em vez de ter ambas superfícies não convencionais da lente.

Uma superfície de base multifocal esférica será discutida abaixo posto que uma lente difrativa multifocal esférica pode ser criada ou pela superfície oposta multifocal ou superfície de base multifocal ou uma combinação de ambas. Uma lente refrativa correspondente construída com a superfície idêntica à superfície de base multifocal da superfície difrativa inclui focos intermediários e distante de uma faixa de focos em torno do foco distante que produz profundidade aumentada de foco em torno do foco distante. A estrutura difrativa sobre a superfície de base multifocal é tal que a difração de ordem não-zero resultante produz a frente de onda que é complementar à flexa da superfície de base multifocal de ordem zero para canalizar luz ao longo da correspondente difração de ordem não-zero correspondente ao foco próximo. Na versão preferível, a difração de ordem não zero é ordem (-1).

A superfície de base multifocal pode ser tal que a curvatura aumenta para algum nível de capacidade intermediário e então reduz para nível de capacidade distante ou até mesmo além do foco distante. As mudanças entre níveis de capacidade intermediário e distante podem repetir várias vezes continuamente ou em passos discretos para minimizar um impacto de mudança de diâmetro da pupila. Como resultado, a imagem de ordem zero é difundida sobre os focos intermediário e distante. A estrutura difrativa sobre a superfície de base multifocal canaliza a luz para foco próximo, i.é, uma combinação de superfície de base multifocal e estrutura difrativa produz uma frente de onda próximo à esférica com o centro no foco próximo.

Uma superfície multifocal semelhante que introduz foco intermediário em adição ao foco distante ou aumenta a profundidade de foco da visão distante pode ser também colocada sobre a superfície oposta à superfície de base com luz passando através de ambas as superfícies em seqüên-

cia, i.é, primeiro através da superfície difrativa multifocal e então superfície oposta ou superfície oposta e então superfície difrativa multifocal. O cálculo da estrutura difrativa nesta é mais complicado já que deve-se levar em conta a transferência de frente de onda entre as superfícies.

5                   É importante comentar que a frente de onda esférica de foco próximo deve ser uma frente de onda final criada por todo o sistema ótico do olho, i.é, os lugares de estrutura difrativa apropriada em quaisquer das superfícies do sistema devem levar em conta todas as superfícies do sistema para criar a frente de onda esférica de foco próximo final na saída do sistema ótico de olho. Alguns exemplos: (a) a estrutura difrativa é colocada na  
10 parte posterior do "aphakic IOL" que substitui a lente cristalina natural, i.é, ele é a última superfície do sistema ótico de olho; (b) a estrutura difrativa pode ser colocada na parte posterior da lente "phakic" posicionada na frente da lente cristalina natural, i.é, ela é superfície interina mas seu projeto deve  
15 incluir uma contribuição ótica da lente cristalina para resultar em uma frente de onda próxima à esférica para o foco próximo; (c) a estrutura difrativa pode estar na superfície posterior das lentes de contato com a córnea e lente cristalina natural seguindo-a e sua contribuição ótica deve ser levada em conta ao projetar a estrutura difrativa apropriada para criar frente de onda próxima  
20 à esférica final para o foco próximo.

Tanto superfície multifocal com focos intermediários e distantes quanto faixa de focos que aumenta a profundidade de foco em visão distante está na superfície oposta de superfície de base a frente de onda multifocal resultante se torna a assim chamada frente de onda de base que interfere  
25 com a estrutura difrativa para criar foco próximo no topo da difração de ordem zero multifocal.

A mudança de fase ao longo da superfície pode ser bastante rápida devido a multifocalidade difrativa de ordem zero e, como resultado, a estrutura difrativa em termos da largura de estria, por exemplo, se torna muito estreita. A lente pode ser uma combinação de zonas com estruturas difrativas alternantes sobre ela. Por exemplo, uma zona refrativa pode ser interna ou periférica à estrutura difrativa. Se a zona refrativa é de construção asféri-

ca com focos intermediário e distante ou projeto aumentando a profundidade de foco, a zona difrativa pode ter superfície de base que é de projeto esférica ou asférico para corrigir para aberrações. Juntas as zonas produzem a lente com difração de ordem zero multifocal e difração de ordem (-1) de foco próximo para cobrir focos intermediário, distante e próximo da lente com desempenho de profundidade de foco aumentado em visão distante vs. lente difrativa multifocal da técnica anterior com foco somente distante e próximo e com profundidade de de foco estreita em imagem distante.

Um método de produzir superfície multifocal difrativa conforme a presente invenção inclui:

a) selecionar a localização (central ou anular) e colocação de superfície (oposta ou superfície de base) para a superfície multifocal;

b) selecionar uma forma multifocal que aumenta DOF em torno do foco distante (distante) ou variação de superfície em focos intermediário e distante;

c) selecionar uma localização (central ou anular) e colocação de superfície (frontal ou trazeira) para a estrutura difrativa multifocal.

d) calcular coeficientes de fase de estrutura difrativa que produz frente de onda próxima à esférica para foco próximo para somar uma capacidade selecionada para servir como difração de ordem não-zero para a lente difrativa asférica com difração de ordem zero multifocal. Usualmente é alocada difração de ordem (-1) para foco próximo.

$$\Phi_{-1}(r) = 2\pi/\lambda [a_1 r + a_2 r^2 + \dots + a_n r^n] \quad (3)$$

A fórmula 3 é função de fase de ordem (-1) (foco próximo) com coeficientes de fase  $a_i$  calculados sobre a contribuição do sistema ótico de olho que inclui superfície multifocal oposta ou superfície de base em uma forma de sua contribuição de "sags". A frente de onda resultante deve ser próxima à frente de onda esférica para maximizar a eficiência para imagem próxima. A correspondente otimização para os coeficientes de fase  $a_i$  pode ser executada por software de projeto ótico convencional, Zemax, por exemplo;

e) calculando numericamente a primeira forma de estria que

produz os coeficientes de fase acima definidos que direciona 100% de luz para o foco próximo difrativo. A largura de estria é definida pelo módulo da função de fase  $2\pi$ , i.é, ciclos de função de fase por período  $2\pi$  onde a altura de estria cai para zero para cada estria consecutiva, fórmula 4.

$$5 \quad h(r_i) = \{[\Phi_{-1}(r_i)]_{2\pi}\} \cdot \lambda / (2\pi(n-n')) \quad (4)$$

onde  $r_i$  = amostragem numérica radial com passo bastante pequeno, por exemplo, 5 microns de passo

A altura máxima de estria é definida pela fórmula 2, i.é,  $\lambda / (n-n')$  para difração de ordem (-1)

10 A função de fase poderia ser de modulo  $2\pi p$  onde  $p = 2, 3,$  etc. para projeto de difração de ordem múltipla

A largura da estria não é definida agora por uma fórmula simples 1 onde a frente de onda de base é próxima da forma esférica para produzir difração de ordem zero de foco único para foco distante. A largura se torna derivada da forma de frente de onda complexa produzida pelo sistema ótico de olho incluindo a superfície multifocal oposta ou a superfície de base; f) selecionar a altura de passo para a primeira estria da zona difrativa para criar um equilíbrio de luz requerido entre a difração de ordem zero multifocal e a difração de ordem (-1) para foco próximo. Podem ser usados métodos diferentes de cálculo de altura de estria. Esta invenção descreve o método que é baseado no "modelo geométrico", i.é, definida pela direção do raio de "blaze" e as eficiências difrativa correspondentes definida pela rigorosa teoria de difração: (1) eficiências difrativas igual de 40.5% para difrações de ordem zero e difrações de ordem (-1) se a direção de raio de "blaze" está exatamente no meio entre as direções destas ordens; (2) a eficiência de difração para distante ou próximo é 100% se a direção de raio de "blaze" coincide com uma direção tanto de difração de ordem zero quanto de difração de ordem (-1). A figura 2 abaixo fornece uma explicação gráfica do modelo geométrico. Conforme este modelo uma direção relativa do raio de "blaze" pode ser traduzida a uma forma de estria pela fórmula 5:

$$25 \quad h'(r_i) = \{S-[T_o(r_i) - T_{-1}(r_i)]\} \cdot h(r_i) / 2S \quad (5)$$

onde:  $h'(r_i)$  é calculado de acordo com a fórmula 4

$T_0(r_i)$  = transmitância para ou eficiência de difração de difração de ordem 0

$T_{-1}(r_i)$  = transmitância para ou eficiência de difração para foco próximo, i. é, difração de ordem (-1)

5  $T_0(r) + T_{-1}(r) = S$ , onde S está dentro de 0.81 a 1.0

O coeficiente K ( $r_i$ ) atua como coeficiente de normalização para transmitância para, de outra forma, a estrutura difrativa com 100% de transmitância para ordem (-1) para foco próximo.

10 S é 0.81 se a direção de raio de "blaze" está exatamente no meio entre as direções para focos próximos e distantes, como um resultado, eficiências iguais de 40.5 % para focos próximo e distante. É 1 se a direção de raio de "blaze" concide tanto com a difração de ordem zero quanto com a difração de ordem (-1) e, como resultado, a eficiência de difração correpondente para foco distante ou próximo e 100 %. Pode-se tomar S como uma

15 constante entre 0.81 e 1.0 se o angulo do raio de "blaze" varia entre direções aos focos próximo e distante. A opção mais sofisticada é variar S entre 0.81 e 1.0 dependendo da direção real do raio de "blaze" para uma dada localização de estria  $r_i$  em referencia à direção para os focos distante e próximo:

$$S = 0.19 \cdot X + 0.81, \text{ onde } X = \left\{ \frac{[T_0(r_i) - T_{-1}(r_i)]}{[T_0(r_i) - T_{-1}(r_i)]} \right\}^2$$

20 g) o processo de cálculo (e) e (f) é repetido para as estrias consecutivas até atingir a borda de periferia da zona difrativa multifocal.

### BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A FIG. 1 ilustra uma lente difrativa da técnica anterior com estrutura periódica de "blaze" formando diferentes ordens de difração ao longo das quais a luz somente pode ser canalizada. A figura inclui também uma

25 descrição de um "modelo geométrico" da lente difrativa através da relação entre o raio de "blaze" definido pela refração na "blaze" e direções das ordens de difração;

A FIG. 2 ilustra uma parte da lente difrativa multifocal esférica

30 desta invenção com estrutura periódica de "blaze" formando superfície de base multifocal para difração de ordem zero e (-1) para foco próximo, ao longo da qual a luz é canalizada. A estrutura difrativa é colocada na superfí-

cie posterior da lente mas ela pode ser colocada na superfície anterior como uma versão diferente. Um "asphere" multifocal pode ser colocado na superfície de base como uma versão diferente. A figura 2 incorpora também uma descrição de um "modelo geométrico" da lente difrativa através da relação entre o raio de "blaze" definido pela refração na "blaze" e as direções das ordens de difração;

A FIG. 3 é uma vista plana de uma versão preferida de uma lente feita de acordo com a presente invenção, que tem zona central difrativa multifocal esférica;

10 A FIG. 4 é uma vista plana de uma versão preferida de uma lente feita de acordo com a presente invenção, que tem zona difrativa multifocal esférica como coroa anular;

A FIG. 5 é um Perfil de Capacidade da lente descrita na FIG. 3.

A FIG. 6 são Perfis de Capacidade da lente descrita na FIG. 4.

15 A FIG. 7 mostra Perfis de Capacidade da lente descrita também na FIG. 4 mas com zonas centrais diferentes.

As FIG. 8A e 8B são vistas de perfil de zona difrativa multifocal esférica.

20 A FIG. 9 é uma vista plana de uma versão preferida de uma lente feita de acordo com a presente invenção, que tem zona central difrativa multifocal e, externa a ela, zona refrativa esférica que inclui focos intermediário e distante. A zona refrativa esférica pode incorporar uma forma DOF de aumento. A zona refrativa multifocal esférica e a zona difrativa podem estar nas mesmas superfícies de lente ou superfícies opostas;

25 A FIG. 10 é uma vista plana de uma versão preferida de uma lente feita de acordo com a presente invenção, que tem zona difrativa multifocal como coroa anular e, externa a ela zona refrativa multifocal esférica com focos intermediário e distante. A zona refrativa esférica pode incorporar a forma DOF de aumento. O zona refrativa esférica e a zona difrativa podem estar nas mesmas superfícies de lente ou superfícies opostas;

30 A FIG. 11 é o exemplo de um Perfil de Capacidade IOL onde o IOL é tomado por si mesmo. O Perfil de Capacidade inclui a distribuição de

capacidade próxima e distribuição do capacidade de Base (Distante). A superfície de base manifesta uma superfície multifocal cobrindo as capacidades intermediária e distante bem como também sendo esférica.

5 A FIG. 12 é o exemplo de um Perfil de Capacidade de Olho onde o IOL é parte do sistema ótico de Olho. O Perfil de Capacidade inclui a distribuição de capacidade próxima de uma capacidade única e distribuição de capacidade de Base (Distante). A superfície de base manifesta uma superfície multifocal cobrindo capacidades intermediária e distante bem como também sendo esférica.

10 A FIG. 13 demonstra um Módulo da Função de Transferência Ótica para posições diferentes de foco, assim "blaze" da de Resposta Através de Foco (TFR). O gráfico TFR representa a qualidade de imagem do olho com a versão preferida da lente multifocal difrativa esférica.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA

15 A FIG. 1 descreve uma parte de uma lente difrativa da técnica anterior 10 com estrutura periódica de "blaze" 50 criando ordens de difração diferentes indicando pelas direções 20a, 20b, 20c, etc., somente ao longo das quais a luz pode só ser canalizada. A figura inclui raio de luz de entrada 20 refratado pela lente 10. Mostra também a curva de base refrativa 40 que refrataria o correspondente raio saindo para o raio de entrada 20 ao longo da 20 direção difrativa de ordem zero 20b. A direção da difração de ordem (+1) é mostrada por 20a e difração de ordem (-1) por 20c. Teoricamente, existem infinitas ordens de difração.

25 A figura 1 incorpora uma referência ao "modelo geométrico" de lente difrativa incluindo raio de "blaze" 30 como o raio correspondente ao raio de entrada 20 e refratado pela "blaze". A direção do raio de "blaze" 30 difere da direção difrativa de ordem 0 20b devido aos ângulos de refração diferentes dos raios na curva de base 40 e estrutura de "blaze" 50. A diferença de ângulo é criada pela espessura de material de "blaze" (h).

30 Se a espessura de material de "blaze" h é zero então a estrutura de "blaze" 50 coincide com a curva de base 40 e a lente se torna do tipo refrativo puro. Se a espessura de material de "blaze" (h) aumenta para refratar

o raio de "blaze" 30 ao longo da difração de ordem (-1) 20b a lente se torna uma Kinoform com 100% de eficiência na difração de ordem (-1). O raio de "blaze" 30 na Figura 1 é colocado no meio entre a difração de ordem 0 e (-1) para canalizar igualmente a luz entre estas duas ordens. A teoria difrativa rigorosa demonstra que o máximo de 40.5% de luz pode ser canalizado ao longo de cada uma destas ordens para o dado comprimento de onda de projeto com o resto da luz sendo difundida entre as ordens de difração mais altas. Nos presentes projetos difrativos multifocais, ordem 0 é selecionada para coincidir com a capacidade para visão Distante (capacidade Distante) e ordem (-1) coincide com a capacidade requerida para visão Próxima (capacidade Próxima).

A FIG. 2 descreve uma parte de lente difrativa 100 de acordo com a presente invenção com a estrutura periódica de "blaze" 130 criando difração de ordem diferente indicando pelas direções 200a (de ordem zero) e 200b (ordem mais alta), etc, somente ao longo da qual a luz pode ser canalizada. A figura inclui o raio de luz de entrada 200 refratado pela lente 100. Mostra também a curva de base refrativa esférica 140 que refrataria o raio saindo correspondente ao raio de entrada 200 ao longo das direções de difração de ordem zero 200a para o o dado segmento de lente. Existe uma faixa de direções devido a asfericidade assinalada da curva de base. A forma da curva de base é tal que a lente refrativa correspondente aumenta a profundidade de foco em torno do foco distante. A direção de difração de ordem (-1) é mostrada por 200b.

A correspondente forma esférica pode ser aplicada à outra superfície e a curva de base da zona difrativa multifocal pode ser da forma esférica convencional. Em ambos os casos se aumentar a zona esférica DOF colocada na outra superfície ou serve como a curva de base da zona difrativa, a difração de ordem zero de lente forma uma frente de onda que aumenta DOF em torno da visão distante, ou tem uma combinação de foco intermediário e distante. Existe um faixa de direções de difração de ordem zero 200a devido a subjacente asferidade da zona esférica de aumentar DOF.

A figura 2 incorpora uma referência ao "modelo geométrico" de

lente difrativa incluindo raio de "blaze" 160 como o raio correspondente ao raio de entrada 200 e refratada pela "blaze". A direção do raio de "blaze" 160 difere das direções da difração de ordem 0 200a devido aos diferentes ângulos de refração dos raios na curva de base 140 e estrutura de "blaze" 130. A  
5 diferença de ângulo é criada pela espessura de material de "blaze" ( $h'$ ).

Se a espessura de material de "blaze"  $h'$  é zero então a estrutura de "blaze" 130 coincide com a curva de base 140 e a lente se torna tipo refrativa esférica pura. Se a espessura de material de "blaze" ( $h'$ ) aumenta para refratar o raio de "blaze" 160 a luz é dividida entre as difrações de ordem  
10 0 e ordem (-1) para canalizar a luz entre estas duas ordens.

A largura e altura de "blaze" não segue agora equações simples (1) e (2) mas são de tal forma a complementar a variação "sag" da curva de base esférica no sentido de resultar na interferência construtiva no foco próximo por ordem difrativa não-zero.

15 A FIG. 3 é uma vista plana de uma versão preferida da lente oftálmica 100 feita de acordo com a presente invenção que tem zona central difrativa multifocal 120. A Figura 3 demonstra a zona central 120 com uma forma esférica mas outra forma satisfatória pode ser utilizada. Por exemplo, uma zona difrativa multifocal 120 pode ser de forma esférica ou de segmento  
20 esférico ou e raios variáveis. A asfera de aumento de DOF pode servir como curva de base da zona difrativa multifocal da outra superfície da lente mas com luz passando através ambas aumentando a zona difrativa multifocal de asfera DOF para formar múltiplas ordens difrativas, i.é, difração de ordem zero em ambos os casos é de natureza esférica com focos intermediário e  
25 distante e pode ser conformada para aumentar DOF na visão distante.

A FIG. 4 é uma vista plana de outra versão preferida de uma lente oftálmica 150 feita de acordo com a presente invenção que tem zona difrativa multifocal 180 colocada fora da zona central refrativa ou difrativa 170. A asfera de aumento de DOF pode servir como curva de base da zona difra-  
30 tiva multifocal na outra superfície da lente mas com luz passando através ambos aumentando a zona difrativa multifocal de asfera DOF para formar múltiplas ordens difrativas, i.é, difração de ordem zero em ambos os casos é

de natureza esférica com focos intermediário e distante e pode ser conformada para aumentar DOF na visão distante.

A figura 4 demonstra a zona central 170 para ser de uma forma esférica mas para generalidade ela pode ser de qualquer forma localizada centralmente à zona difrativa multifocal 180.

A FIG. 5 demonstra um gráfico de Capacidade da lente descrita na Figura 3 onde o perfil do capacidade da curva de base inclui focos distante e intermediário. Este perfil decapacidade poderia ser continuamente variado como mostrado na figura 5, ou uma combinação de capacidades discretas intermediária e distante. A figura 5 mostra o perfil de capacidade da curva de base modulada entre capacidade nas faixas de capacidade intermediária e distante. A combinação de capacidades para as capacidades intermediária e distante poderia ser de formas diferentes mas com o resultado para produzir a profundidade de foco aumentada em torno do foco distante. As larguras, alturas e perfis de estria, são tais que os correspondentes deslocamentos de frente de onda junto com a contribuição das "sags" da curva de base criam interferência de contração na difração de ordem (-1) correspondente ao foco próximo com eficiência de difração substancial para produzir visão próxima em adição à vista distante e intermediária produzida pela curva de base esférica.

A FIG. 6 é um gráfico de Capacidade da lente descrita na Figura 4 onde a distribuição de capacidade ao longo da zona central é representada da variedade de formas de capacidade única ou perfis de capacidade variáveis.

A FIG. 7 é um gráfico de Capacidade da lente descrita na Figura 4 onde a distribuição de capacidade ao longo da zona central dentro da coroa anular difrativa esférica é uma combinação de zona refrativa de perfis de capacidade variados e coroa anular difrativa de foco único (Kinoform) para foco próximo.

A FIG. 8A é uma vista de perfil da parte difrativa multifocal da lente 150a de largura  $l_1$  e superfície posterior 250. A largura  $l_1$  é aproximadamente de 0.4 mm a 2.5 mm. A figura demonstra altura de estria  $h'_m$  que é

continuamente reduzida mas em geral elas podem ter a redução de altura em passos. "O modelo geométrico" da ótica difrativa explica a redução na altura de estria no sentido de direcionar o raio de "blaze" entre as ordens de difração associadas com focos distante- intermediário de ordem zero e foco próximo de ordem não zero para dividir a luz entre foco multifocal esférica de ordem 0 e foco único de ordem (-1) já que uma teoria difrativa rigorosa é requerida para fornecer uma solução completamente quantitativa para as larguras, perfil e alturas de estria, satisfazendo os requisitos de transmitância específicos para focos distante, intermediário e próximo.

10 A FIG. 8B é uma vista de perfil da zona difrativa multifocal da lente que 150b semelhante àquela descrita para a figura 8A com ambas as zonas sendo rebaixadas pela profundidade 295, que é pelo menos tão profundo quanto a altura de estria ( $h'_m$ ). Esta construção é particularmente útil quando envolver material macio quando a superfície difrativa pode ser pressionada contra um tecido ocular e deformar sua forma. Por exemplo, para 15 colocação na superfície posterior da lente ou lentes de contato intraoculares que podem fazer interface com o tecido ocular e deformar as formas de estria.

A FIG. 9 é uma vista plana de uma versão preferida da lente oftálmica 300 feita de acordo com a presente invenção que tem zona central difrativa multifocal 320. A Figura 9 demonstra a zona central 320 com uma forma esférica mas outra forma satisfatória pode ser utilizada. Por exemplo, uma zona difrativa multifocal 320 pode ser forma ou segmento esférico ou de raios variáveis. A zona refrativa esférica 330 é colocada fora da zona difrativa multifocal ou na mesma superfície ou na superfície oposta da lente. 25

A FIG. 10 é uma vista plana de outra versão preferida de uma lente oftálmica 350 feita de acordo com a presente invenção que tem zona difrativa multifocal 380 colocada fora da zona central refrativa ou difrativa 370 de capacidade única. Uma zona refrativa esférica 360 é colocada fora da zona difrativa multifocal ou no mesmo ou superfície de lente oposta. O refrativa esférica zona 360 é colocada fora da zona difrativa multifocal ou na 30 mesma superfície ou na superfície oposta da lente.

A FIG. 11 é o exemplo de um Perfil de Capacidade IOL onde o IOL é tomado por si mesmo. O Perfil de Capacidade inclui a distribuição de capacidade próxima e distribuição do capacidade de base (Distante). O eixo Zero é tomado na capacidade de melhor foco distante definido como a melhor qualidade de imagem em termos de função transferencia de modulação. O eixo vertical é escalado em dioptrias IOL ou assim chamada dioptria reduzid definida no plano IOL.

A lente do exemplo particular foi feita de PMMA com superfície anterior esférica de 12.3 mm de raio, 0.8 mm de espessura e superfície posterior multifocal asférica. Mais tarde consiste de três zonas asférica: (1) zona central asférica refrativa de 1.5 mm de diâmetro, (2) zona anular asférica difrativa com 3.8 mm de diâmetro periférico e (3) zona asférica refrativa de 6 mm diâmetro de periférico.

Cada zona é descrita pelo formato asférico padrão:

$$z(r) = c r^2 / (1 + \sqrt{1 - c^2 r^2}) + A_4 r^4 + A_6 r^6 + A_8 r^8 + A_{10} r^{10}$$

onde  $z(r)$  = superfície cai;  $r$  = distância ao centro da lente;  $c = 1/R$  = curvatura de vértice de superfície ( $R$  = raio de vértice de superfície);

$A_i$  = coeficientes asféricos.

Tabela 1: Parâmetros de Zona de Superfície de Base

Parâmetros	Zona 1	Zona 2	Zona 3
R(mm)	-20.80	-22.00	-26.65
$A_i$	$A_4 = 0.0066461$	$A_4 = 0.0015878$ $-0.000160836$	$A_4 = 0.0001176$ $A_6 = 0.00003538346$ $A_8 = 0.0000009912011$

A estrutura difrativa é colocada dentro da segunda zona para produzir capacidade próximo além dos capacidades distantes e intermediária da superfície de base. A distribuição do capacidade próximo é elevado acima do capacidade básico por Somar Capacidade e estender dentro 3.1 D e 3.7 D faixa. A largura de estria da estrutura difrativa é mais ou menos 0.17 mm no diâmetro de zona interna para mais ou menos 0.08 mm na periferia. A praça de raios de estria não segue a função linear de fórmula que 1. Os coeficientes de fase pela fórmula 3 da estrutura difrativa medido em radians são:

$$a_1 = 0.191405; a_2 = 18.525067; a_4 = 1.783861 \text{ e } a_6 = -0.290676$$

A FIG. 12 é o exemplo de um Perfil do Capacidade de Olho onde o IOL é ptécnica do sistema ótico de olho. O IOL é o mesmo que uma descri-  
ta na Figura 11. O Zero eixo é tomado no capacidade de melhor foco distan-  
5 te definiu como a melhor qualidade de imagem em termos de modulação  
transfere função. O eixo vertical é pesado em diopters em plano córneo. O  
recíproco do correspondente dioptric capacidade define uma distância para o  
ver objeto em metros. O sistema de olho é tomado com superfícies córneas  
típicas: Superfície anterior de 7.8 mm de raio de vértice e cônico constante  
10 de -0.21 e superfície posterior de 6.5 raio de mm e cônico constante de -  
0.23.

O resultado notável do Perfil do Capacidade com o IOL descrito  
acima era que o Capacidade Próximo era apresentado por um capacidade  
único de 2.78 D para próximo vendo, i.é. o objeto próximo em ao redor 0.36  
15 m ~14" do olho está em foco. Um nível único de perfil do capacidade próxi-  
mo assinala que a estrutura difrativa cria uma frente de onda esférica para  
canal toda designada pela luz de estrutura para Foco Próximo deste modo  
maximizando a eficiência de foco próximo.

A explicação é que a interação da estrutura difrativa com a frente  
20 de onda do sistema ótico total é tal que ele cria uma frente de onda esférica  
para foco próximo. Até onde o foco distante é preocupação, a estrutura mul-  
tifocal da superfície de base resulta em foco intermediário e profundidade  
larga de foco no foco distante.

A FIG. 13 demonstra um Módulo da Função de Transferência  
25 Ótica para posições de foco diferentes, assim "blaze" da Resposta Através  
do Foco (TFR). O gráfico da TFR representa a qualidade de imagem do olho  
com a versão preferida da lente difrativa multifocal asférica pela Figura 12 e  
função de transmitância de sua zona bifocal difrativa apodizada pela Tabela  
2 abaixo.

30 A estrutura difrativa da zona de coroa anular de raios entre 0.75  
mm e 1.0 mm é para visão próxima enquanto 100% de luz é transmitida para  
o foco próximo. A zona difrativa bifocal ocupa a largura entre 1.0 e 1.9 mm

de raios. O projeto inclui a apodização de estria definida pela transmitância para focos Distante e Próximo:  $T = T_0 \cdot (1 - T_1 \cdot r - T_2 \cdot r^2 - T_3 \cdot r^3 - T_4 \cdot r^4)$ .

**TABELA 2**

Eficiência / Transmitância	T0	T1	T2	T3	T4
Foco distante	2.508375	3.010962	-2.98324	1.074313	-0.13188
Foco próximo	-16.4189	3.593128	-4.31017	2.167969	-0.3942

5 Deste modo, a apodização das estrias dentro da zona difrativa bifocal é tal que ela começa com a altura para direcionar toda luz ao longo da ordem de difração associada com foco próximo e então as alturas são reduzidas para criar a transmitância descrita pela Tabela 2 até alcançar perto de zero para direcionar toda luz ao longo da ordem de difração associada com o foco distante.

10 A TFR da lente difrativa multifocal esférica preferida é comparada com a TFR da lente difrativa multifocal onde a luz é igualmente dividida entre focos distantes e próximo (40.5% em cada foco para o comprimento de onda de projeto com o resto de luz distribuído entre ordens de difração mais alta) para 3 mm de abertura de lente. Os gráficos demonstram a vantagem  
15 notável da lente difrativa multifocal esférica preferida sobre a lente difrativa multifocal manifestando capacidade de vista Intermediária além das capacidades de vista melhorada Próxima e Distante como também Profundidade larga de Foco para reduzir a sensibilidade a um erro refrativo pequeno.

## REIVINDICAÇÕES

1. Lente oftálmica multifocal compreendendo:
  - um elemento de lente que tem uma superfície anterior e uma superfície posterior;
  - 5 uma zona refrativa, ou superfície de base que tem capacidades multifocais produzidas asfericamente disposta em uma das superfícies anterior e posterior; e
  - uma zona multifocal difrativa de foco próximo disposta em uma das superfícies anterior e posterior.
- 10 2. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que a zona multifocal difrativa é uma coroa anular.
3. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que a zona multifocal difrativa é zona central.
4. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que a zona refrativa aumenta a profundidade de campo em torno da visão distante.
- 15 5. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que a zona refrativa compreende uma zona multifocal refrativa de foco distante e intermediário.
6. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que a zona multifocal difrativa aumenta a profundidade de foco em torno da visão distante.
- 20 7. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que a dita superfície de base da zona multifocal difrativa compreende uma zona multifocal difrativa de foco distante e intermediário.
8. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que a zona multifocal difrativa compreende uma pluralidade de estrias, as estrias sendo apodizadas desde uma altura direcionando luz ao longo de uma ordem difrativa associada com foco próximo para uma altura direcionando luz ao longo de uma ordem difrativa associada com foco distante.
- 25 9. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que a zona multifocal difrativa é rebaixada dentro de uma das superfícies anterior e posterior.
- 30 10. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que o dito elemento de lente é uma lente intraocular.

11. Lente de acordo com a reivindicação 1 em que o dito elemento de lente é uma lente de contato.

12. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que o dito elemento de lente é uma córnea artificial.

5 13. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que o dito elemento de lente é um implante lamelar.

14. Método de projetar uma superfície difrativa multifocal asférica compreendendo

a) selecionar uma superfície de base com capacidades multifocais fornecendo asfericidade;

b) calcular coeficientes de fase de estrutura difrativa que produz foco próximo para uma capacidade adicionada selecionada para servir como difração de ordem não-zero;

c) calcular numericamente uma forma de estria de eficiência 100% que produz coeficientes de fase definidos e largura de estria definida pelo ciclo  $2\pi p$  de módulo de função de fase onde  $p=1,2,\dots$ ; e

d) modificar uma forma de estria  $h(r_i)$  da zona difrativa para criar um equilíbrio requerido de luz entre a difração de ordem zero para visão distante e difração de ordem não-zero para visão próxima para esta localização de estria;

15. Método de calcular o equilíbrio de luz entre focos distante e próximo da estria difrativa definido pela fórmula:

$$h'(r_i) = \{S - [T_0(r_i) - T_{-1}(r_i)]\} \cdot h(r_i) / 2S$$

onde:  $T_0(r_i)$  = eficiência de difração para foco distante, i. é,

25 difração de ordem 0

$T_{-1}(r_i)$  = eficiência de difração para foco próximo, i. é, difração de ordem 0

$$T_0(r) - T_{-1}(r) = S, \text{ onde } S \text{ está dentro de } 0.81 \text{ a } 1.0$$

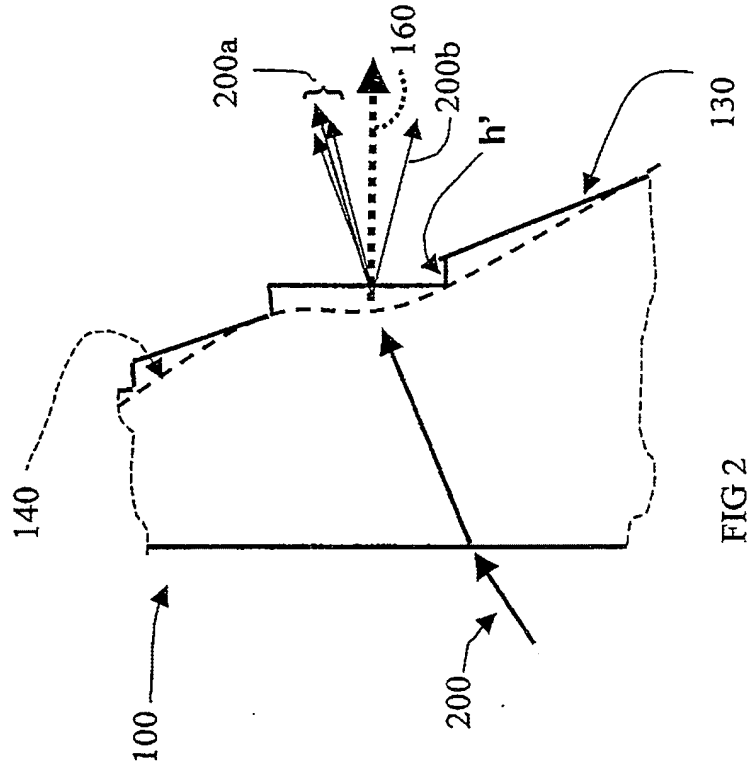


FIG 2

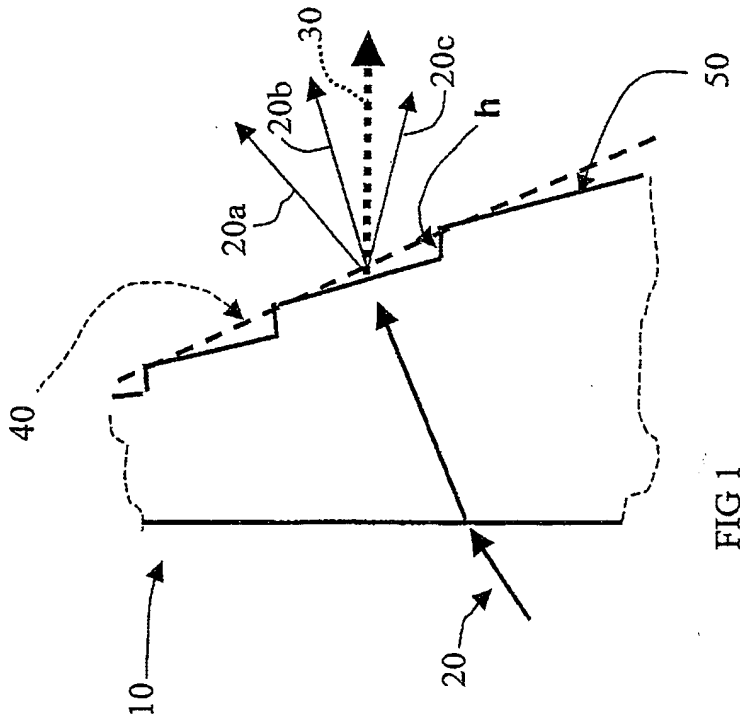


FIG 1  
(TÉCNICA ANTERIOR)

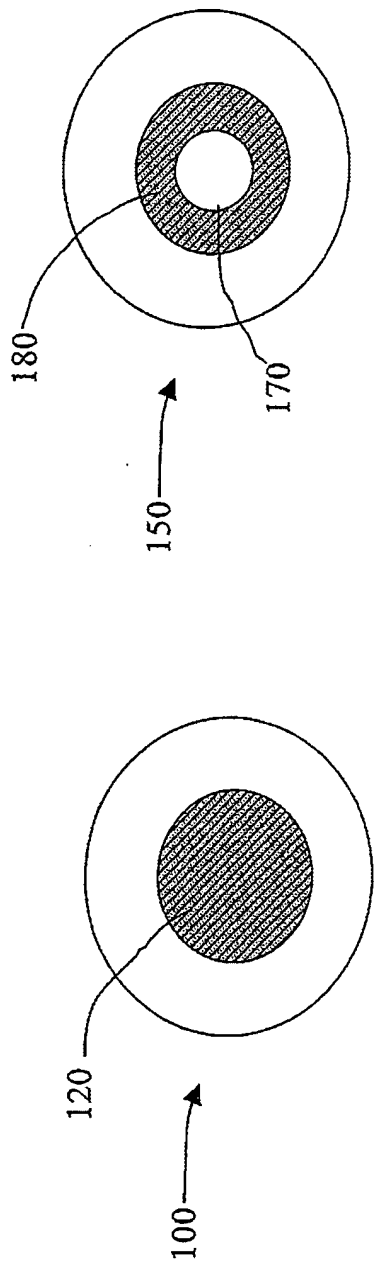
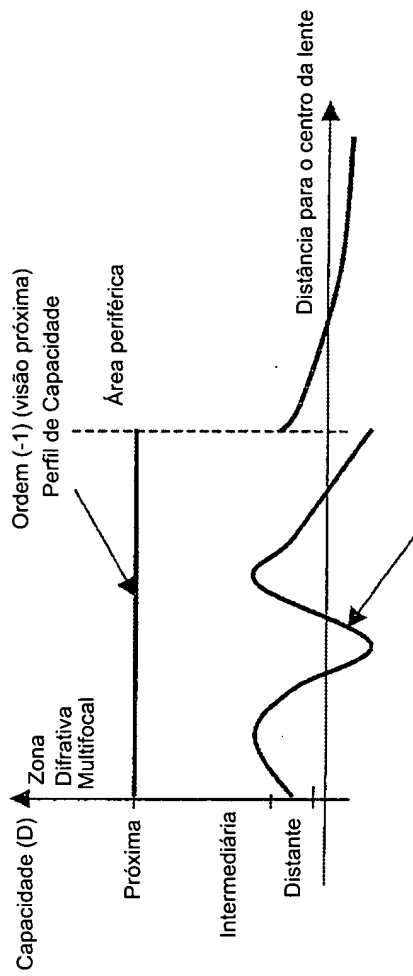


FIG 3

FIG 4



Perfil de Capacidade da Curva de Base

FIG 5

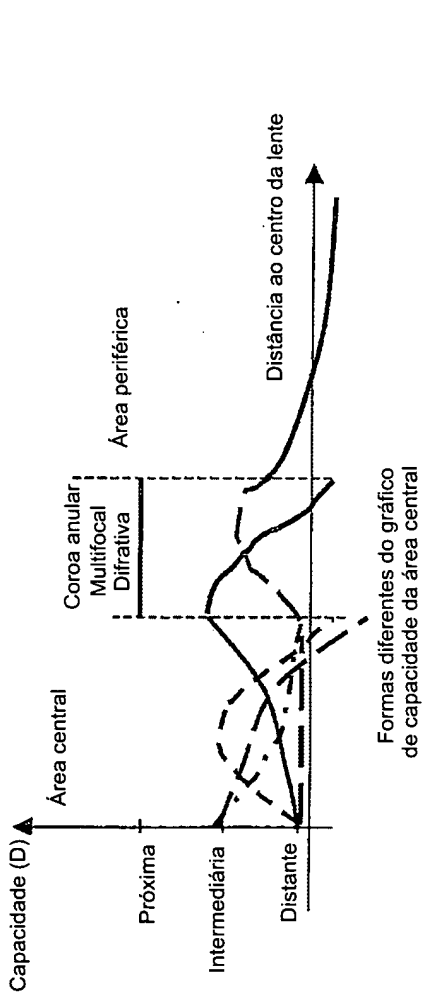


FIG 6

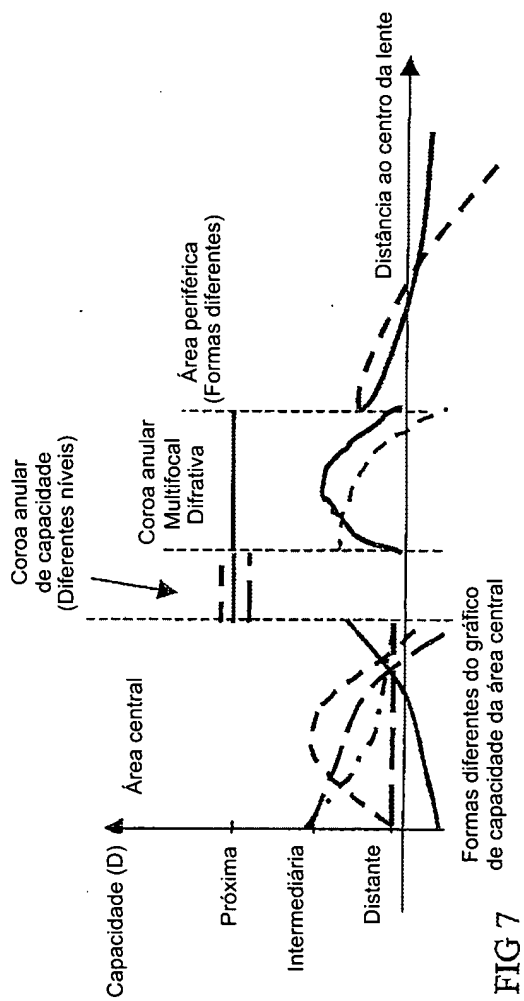


FIG 7

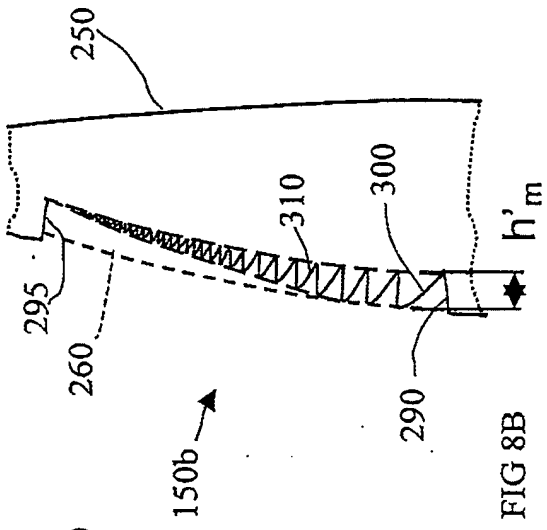


FIG 8A

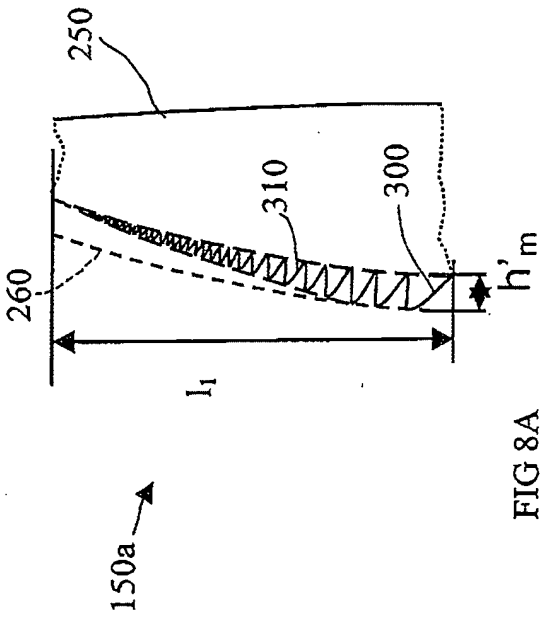


FIG 8B

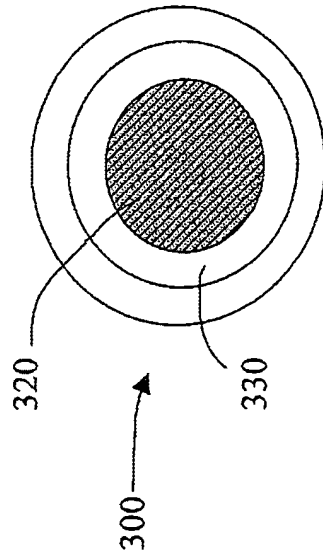


FIG 9

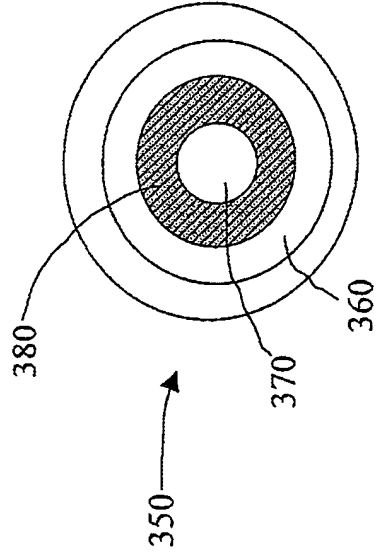


FIG 10

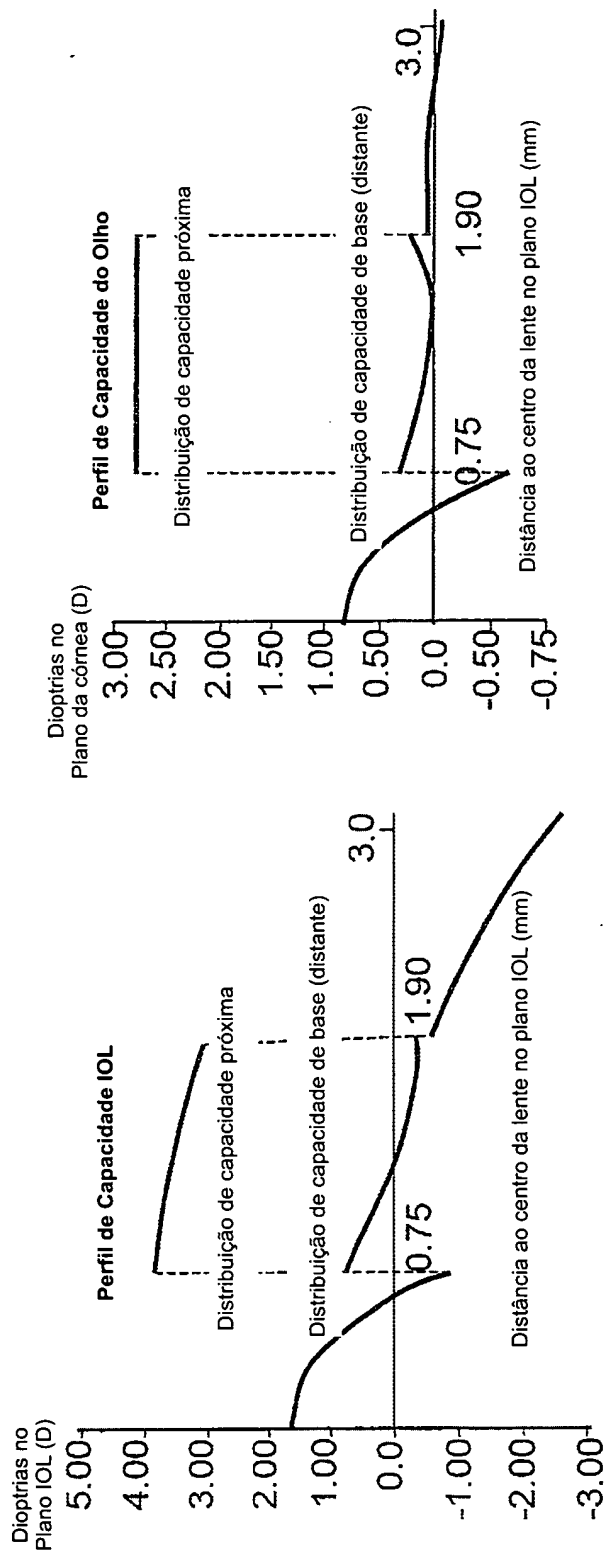


FIG 11

FIG 12

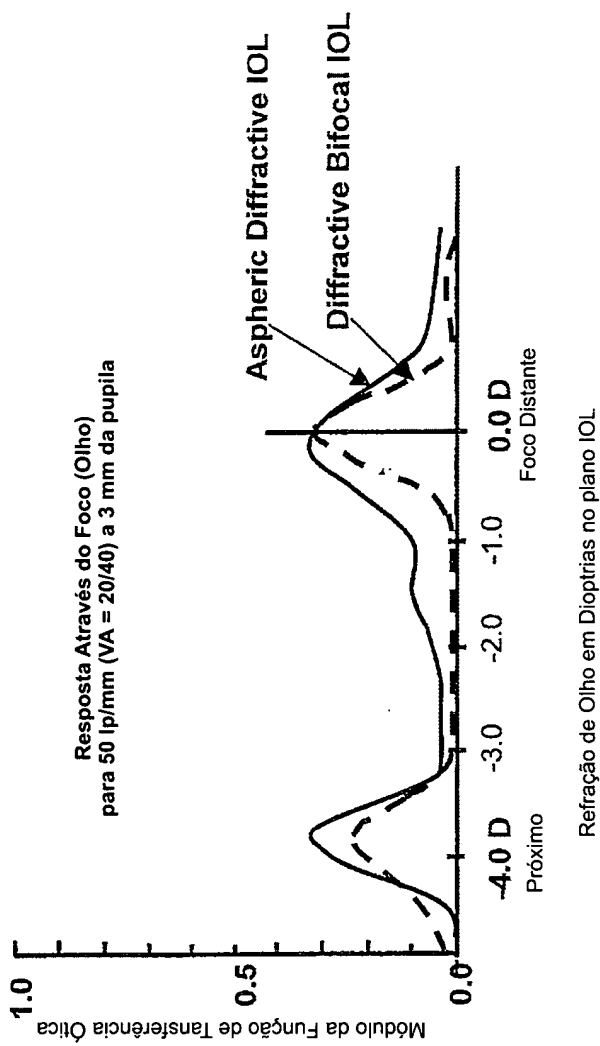


FIG 13

**RESUMO**

Patente de Invenção: "**LENTE OPTÁLMICA DIFRATIVA MULTIFOCAL ASFÉRICA**".

5 Uma lente oftálmica multifocal inclui um elemento de lente tendo uma superfície anterior e uma superfície posterior, uma zona refrativa, ou superfície de base tendo asféricaally produzidos capacidades multifocais dispostos em uma das superfícies anteriores e posteriores; e um difrativa de foco próxima zona multifocal disposta em uma das superfícies anteriores e posteriores.

Novo quadro reivindicatório (total de 15 reivindicações) para processamento na Fase Nacional Brasileira.

## REIVINDICAÇÕES

1. Lente oftálmica multifocal compreendendo:

um elemento de lente que tem uma superfície anterior e uma superfície posterior; uma das superfícies incluindo uma zona multifocal difrativa disposta para a luz passar consecutivamente através de ambas as zonas;

uma zona refrativa, ou zona multifocal difrativa com uma superfície de base que tem capacidades multifocais produzidas asfericamente, disposta em uma das superfícies anterior e posterior; e

uma zona multifocal difrativa produzindo foco próximo disposta em uma das superfícies anterior e posterior.

2. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que as zonas são coroas anulares.

3. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que as zonas multifocais refrativa e difrativa são zonas centrais.

4. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que as zonas multifocal refrativa ou difrativa aumenta a profundidade de foco em torno da visão distante.

5. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que a dita zona refrativa ou superfície de base da zona multifocal difrativa compreende capacidades distante e intermediária.

6. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que a zona multifocal difrativa compreende uma pluralidade de estrias, as estrias sendo apodizadas em direção à periferia de lente desde uma altura direcionando uma percentagem de camada de luz ao longo de uma ordem difrativa associada com foco próximo para uma altura direcionando a percentagem maior de luz ao longo de uma ordem difrativa associada com foco distante.

7. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que a zona multifocal difrativa é rebaixada dentro de uma das superfícies anterior e posterior.

8. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que o dito elemento de lente é uma lente intraocular.

9. Lente de acordo com a reivindicação 1 em que o dito elemen-

to de lente é uma lente de contato.

10. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que o dito elemento de lente é uma córnea artificial.

5 11. Lente de acordo com a reivindicação 1, em que o dito elemento de lente é um implante lamelar.

14. Método de projetar uma superfície difrativa multifocal esférica compreendendo

a) selecionar uma superfície de base com capacidades multifocais fornecendo asfericidade;

10 b) calcular coeficientes de fase de estrutura difrativa que produz foco próximo para uma capacidade adicionada selecionada para servir como difração de ordem não-zero;

15 c) calcular numericamente uma forma de estria de eficiência 100% que produz coeficientes de fase definidos e largura de estria definida pelo ciclo  $2\pi p$  de modulo de função de fase onde  $p=1,2,\dots$ ; e

d) modificar uma forma de estria  $h(r_i)$  da zona difrativa para criar um equilíbrio de luz requerido entre a difração de ordem zero para visão distante e difração de ordem não-zero para visão próxima para esta localização de estria;

20 15. Método de calcular o equilíbrio de luz entre focos distante e próximo da estria difrativa definido pela fórmula:

$$h'(r_i) = \{S-[T_0(r_i) - T_{-1}(r_i)]\} \cdot h(r_i) / 2S$$

onde:  $T_0(r_i)$  = eficiência de difração para foco distante, i. é, difração de ordem 0

25  $T_{-1}(r_i)$  = eficiência de difração para foco próximo, i. é, difração de ordem 0

$$T_0(r) - T_{-1}(r) = S, \text{ onde } S \text{ está dentro de } 0.81 \text{ a } 1.0$$