

LASER CONTÍNUO DE Nd:YAG*

WAGNER DE ROSSI, GESSÉ EDUARDO CALVO NOGUEIRA, JOSÉ ROBERTO BERRETTA,
E SPERO PENHA MORATO

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES - IPEN/CNEN/SP

R E S U M O

Foi projetado e desenvolvido um protótipo de um laser de Nd bombeado continuamente por uma lâmpada de arco de Kr de alta pressão. A cavidade bombeadora é monoelíptica, sendo sua superfície revestida com ouro, e permite a utilização de bastões de até 73 mm de comprimento útil. A estrutura do ressonador é monobloco, com comprimento máximo entre espelhos de até 600 mm. Os sistemas de refrigeração e de alimentação foram integralmente desenvolvidos em nossos laboratórios, contando com vários circuitos de proteção. Testes preliminares, utilizando-se um bastão de Nd:YAG de 4 mm de diâmetro e 79 mm de comprimento forneceram uma potência de 34 W, operando no regime multimodo, para uma potência de bombeio de aproximadamente 4,1 KW.

CABEÇA:

A cavidade de bombeio é constituída de um refletor monoelíptico revestido de ouro, e foi desenhado usando-se o tipo "tight coupling", ou seja, o semi-eixo maior da elipse é o menor possível, assim, as dimensões do refletor são: $a = 40$ mm; $b = 34,5$ mm e comprimento $l = 78$ mm. A caixa contendo o conjunto do refletor é de acrílico polido, de modo que é possível visualizar grande parte do seu interior mesmo quando em operação. O bastão e a lâmpada são montados dentro de tubos de quartzo, os quais permitem fácil troca destes componentes.

Todo o sistema foi projetado em um microcomputador, usando-se um programa Autocad, e a usinagem de todo o conjunto de bombeio foi

feita através de uma fresadora CNC. O refletor, de aço inox, foi polido à mão com abrasivos de várias granulações, até o grão final de $0,3 \mu\text{m}$. O conjunto das jaquetas do bastão e da lâmpada foram projetados e reproj_{etados} algumas vezes, devido as fortes restrições impostas ao seu fun_{cionamento}; devem vedar perfeitamente os diversos componentes, sem con_{tudo} oferecer stress mecânico. Altas temperaturas localizadas e altas doses de radiação U.V. também são problemas a considerar. Assim, chega_{mos} a um sistema que consideramos bastante satisfatório, e que já ope_{rou} por mais de 200 horas sem problemas.

Na cabeça do laser, a parte mais importante é a refrigeração; qualquer falha levará rapidamente à quebra da lâmpada ou do bastão. Des_{ta} maneira, o fluxo total de água de 18 l/min . foi dividido em três partes paralelas, as quais refrigeram o bastão, a lâmpada e o refletor. Neste último, menos crítico, o fluxo é laminar, enquanto que no bastão e na lâmpada, o diâmetro interno dos tubos foi calculado para obtermos um fluxo turbulento, aumentando consideravelmente a eficiência na troca de calor.

O ressonador pode ser usado com comprimento variável, desde $\sim 30 \text{ cm}$ até um máximo de 60 cm . Os suportes θ, ψ dos espelhos tem uma sensibilidade de $15''$, o que é suficiente para um bom alinhamento ópti_{co}.

Como é bastante conhecido, o YAG:Nd apresenta um forte efeito de lente térmica, mesmo para baixas energias de bombeamento. Assim, para se obter um feixe com baixa divergência e poucos modos de alta ordem, é desejável compensar esta lente térmica. Apresentamos na figura 1 um grá_{fico} da lente térmica em função da potência de bombeamento. Para o regi_{me} multimodo ainda não foi feita a compensação da lente térmica, e usan_{do-se} um ressonador plano paralelo obtivemos uma potência de saída máxima de 34 W , com uma eficiência de $0,8\%$ em um feixe de 4 mm .

Para o modo TEM_{00} usamos o único espelho convexo disponível de raio de curvatura $r = -40 \text{ cm}$, que compensa a lente térmica para a re_{gião} de até $P_e = 3300 \text{ W}$ de potência na lâmpada. Assim, com $P_e \approx 3100 \text{ W}$ obtivemos $5,8 \text{ W}$ no modo fundamental. Para potências maiores, a cintura do feixe fica muito pequena e o volume do modo decresce muito, com uma conseq_{uente} perda de eficiência. A figura 2 mostra o comportamento do laser para diversos regimes de operação.

FONTE DE POTÊNCIA

A fonte de potência principal opera de forma convencional. É composta de um transformador trifásico isolador seguido por um retificador controlado trifásico com realimentação da corrente de alimentação da lâmpada. Após a retificação controlada, a fonte dispõe de um filtro LC que reduz a ondulação da tensão para 0,3% RMS. Uma fonte auxiliar é isolada da principal por um diodo e esta fonte tem por função prover potencial suficiente para a ignição da lâmpada. Após a fonte auxiliar existe um indutor com núcleo de ferrite saturável que tem a função de isolar pulsos de alta tensão de ignição que são fornecidos por um "spark-gap" na outra extremidade deste indutor que está conectado à lâmpada, conforme o diagrama de blocos da figura 3. Este arranjo de ignição foi desenvolvido para evitar o sistema convencional de alto custo e peso elevado.

O sistema de proteção que supervisiona o laser dispõe de sensor de sobre-corrente, sobre-tensão, inversão de fase da rede elétrica, sobre-temperatura do refrigerante, sub-fluxo de refrigerante e chaves de segurança.

O sistema de ignição é automático, com interrupção de pulsos de alta tensão supervisionado pela corrente da lâmpada. A fonte principal pode suprir a potência de 5200 W, com ondulação em corrente inferior a 0,3% RMS e estabilidade a longo prazo melhor que 1%. Requer alimentação trifásica (220 V, 20 A) e dimensões de (480 x 300 x 550) mm e peso aproximado de 60 Kg (não incluso o transformador trifásico).

SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

O laser é refrigerado através de um circuito fechado de água, o qual troca calor com água da rede. Na figura 4 vemos um diagrama de blocos do sistema. O fluxo total é de 18 l/min. com pressão máxima de ~ 35 PSI. Todos os componentes são feitos em plástico, ou metais que não oxidam, além disso, um deionizador ajuda a manter a alta resistividade elétrica da água. Um filtro de partículas e uma microtela servem de proteção à refrigeração do anodo da lâmpada, pois partículas minúsculas poderiam obstruir a passagem da água em seu interior. Um trocador

de calor do tipo casca tubo foi feito com tubos de cobre niquelados e a casca em PVC; este trocador de calor mantém a temperatura do circuito primário muito próxima da temperatura do circuito secundário.

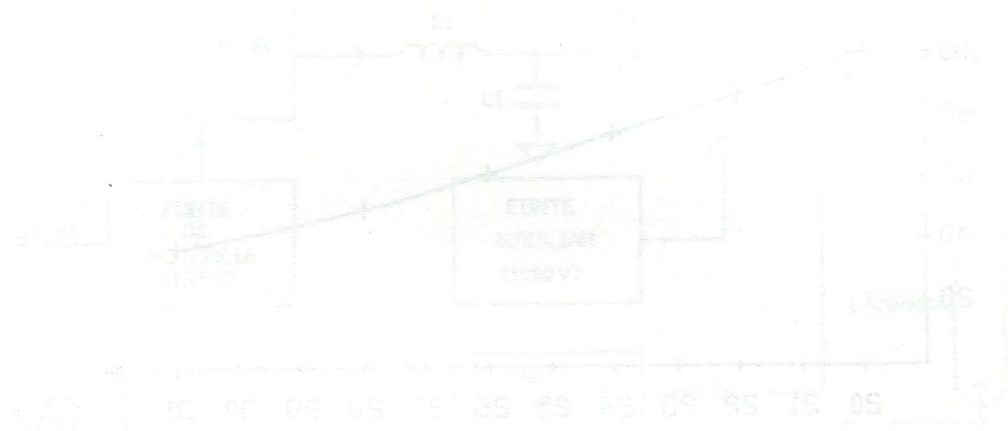


FIGURA 1 - Esquema do trocador de calor de casca tubo e gráfico da temperatura de saída em função da temperatura de entrada.

FIGURA 2 - Gráfico da potência de saída em função da temperatura de entrada.



FIGURA 3 - Gráfico da potência de saída em função da temperatura de entrada para diferentes vazões de água.

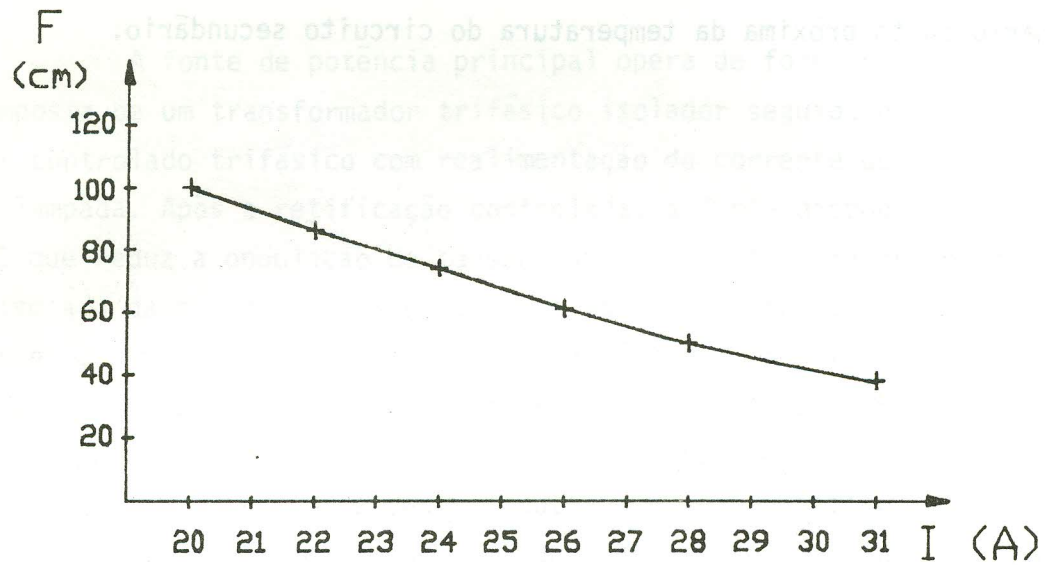


FIGURA 1: Lente t ermica no bastão em fun o da corrente na lâmpada.

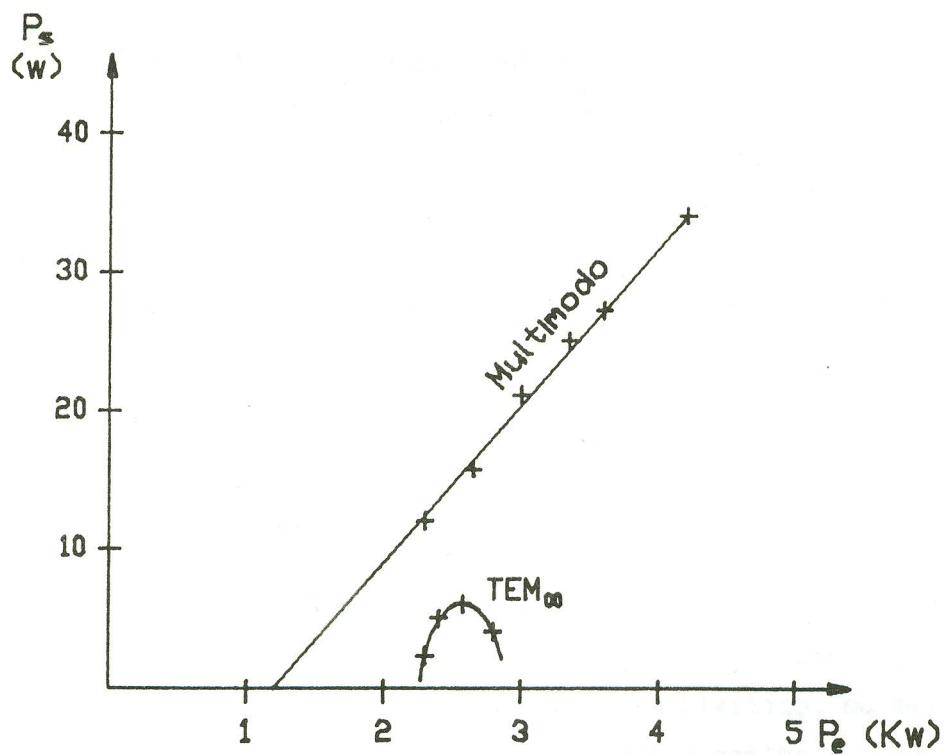


FIGURA 2. Potência de saída P_s em fun o da potência na lâmpada P_e .

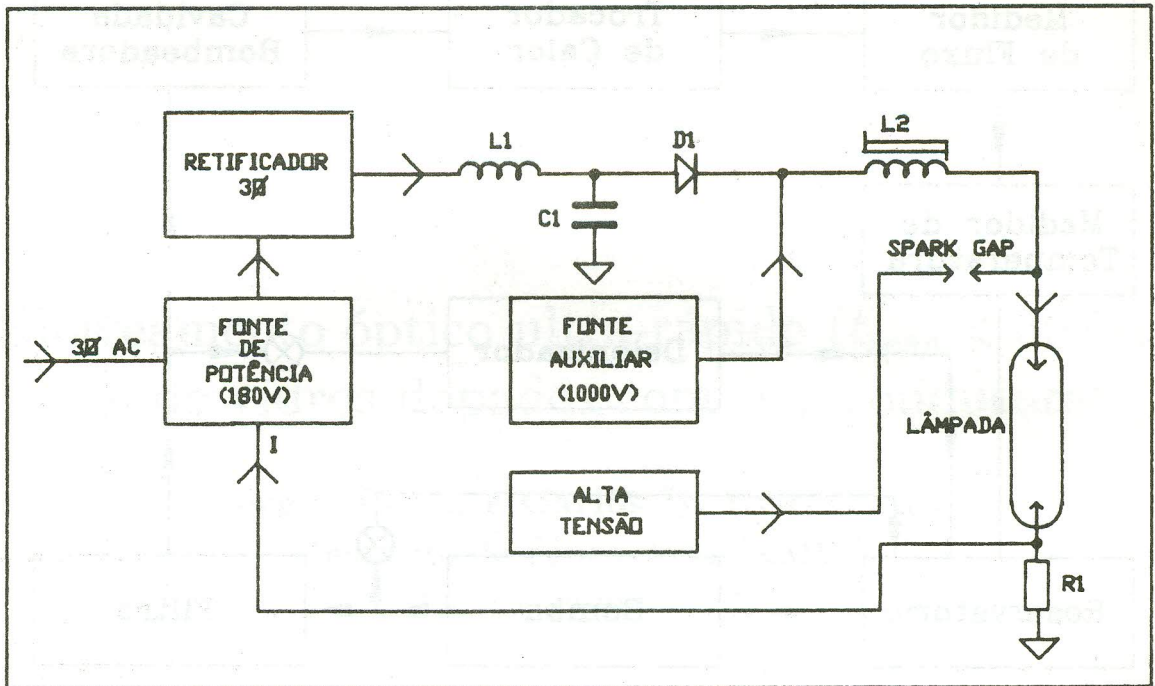


FIGURA 3 - DIAGRAMA DE BLOCOS DA FONTE DE POTÊNCIA

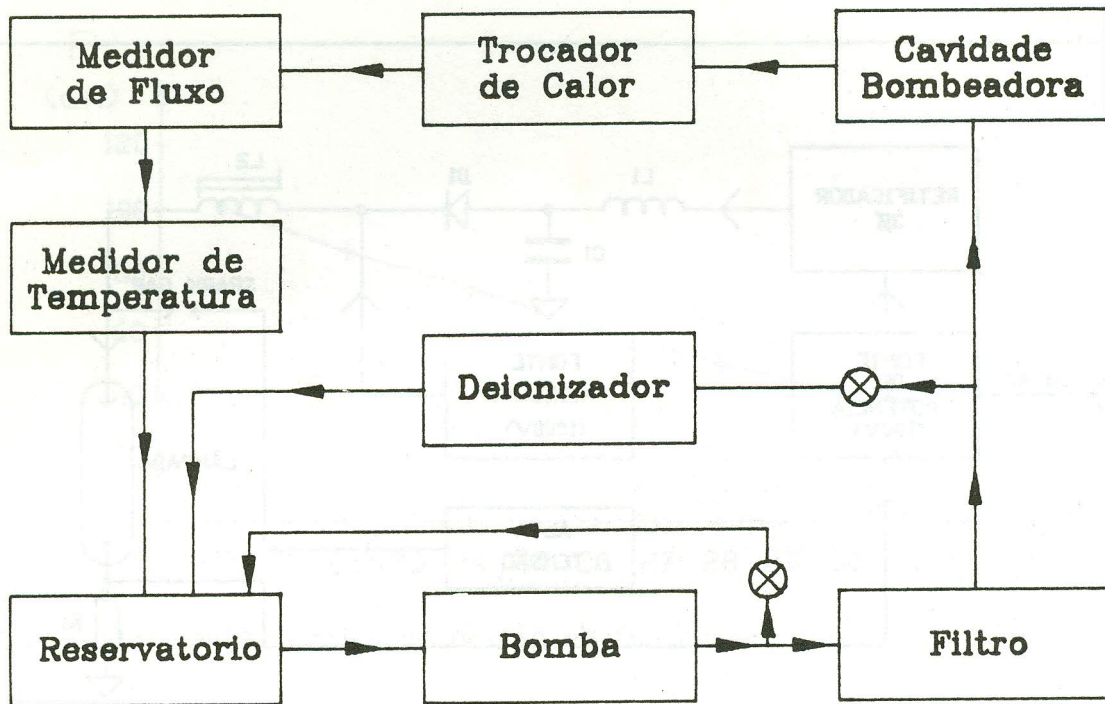


FIGURA 4. Diagrama de blocos do sistema de refrigeração.