

**Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**  
**Departamento de Engenharia de Telecomunicações**  
**e Controle**

ISSN 1517-3550

**BT/PTC/0107**

---

**Projeto de Controlador de  
Temperatura para Perfusão Peritoneal  
com Hipertermia e Quimioterapia**

---

**Giancarlo Antonio Berzacola  
Fuad Kassab Júnior**

**São Paulo - 2001**

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Giancarlo Antonio Berzacola sob orientação do Prof. Dr. Fuad Kassab Júnior.: "Projeto de Controlador de Temperatura para Perfusion Peritoneal com Hipertermia e Quimioterapia", defendida em 19/12/00, na Escola Politécnica.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica/USP.

#### FICHA CATALOGRÁFICA

Berzacola, Giancarlo Antonio

Projeto de controlador de temperatura para perfusão peritoneal com hipertermia e quimioterapia / G.A. Berzacola, F. Kassab Júnior. – São Paulo : EPUSP, 2001.

p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle, BT/PTC/0107)

1. Controle de temperatura 2. Tumor na cavidade peritoneal 3. PPHQ I. Kassab Júnior, Fuad II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle III. Título IV. Série

ISSN 1517-3550

CDD 612.01426

612.33

612.33

# PROJETO DE CONTROLADOR DE TEMPERATURA PARA PERFUSÃO PERITONEAL COM HIPERTERMIA E QUIMIOTERAPIA

Giancarlo Antonio Berzacola

LAC – Laboratório de Automação e Controle  
Caixa Postal 61548 – São Paulo, SP

## SUMÁRIO

Este artigo trata do projeto de um sistema controlador de temperatura a ser utilizado durante a aplicação de PPHQ, Perfusion Peritoneal com Hipertermia e Quimioterapia, que é uma terapia auxiliar no tratamento de câncer.

## 1-INTRODUÇÃO

O presente trabalho destina-se à implementação de um sistema de controle operando em malha fechada (figura 1.1), que será utilizado para a aplicação da terapia da PPHQ, Perfusion Peritoneal com Hipertermia e Quimioterapia, ao final do procedimento cirúrgico para a retirada de tumores fixados em órgãos dentro do abdome [1,2,3,4,5,6,7,8,9]. Este sistema será responsável pelo controle de temperatura do líquido de perfusão no interior do corpo do paciente, especificamente a temperatura intraperitoneal e pelo fluxo deste líquido entre a cavidade peritoneal (abertura feita no abdome do paciente) e o recipiente de aquecimento do líquido de perfusão. Com isto, baseando-se em resultados de pesquisas recentes [1,5,6], busca-se obter melhores resultados na aplicação dessa terapia, visto que o controle de temperatura dentro da cavidade peritoneal (intraperitoneal) é de primordial importância para aumentarmos a eficácia da PPHQ.

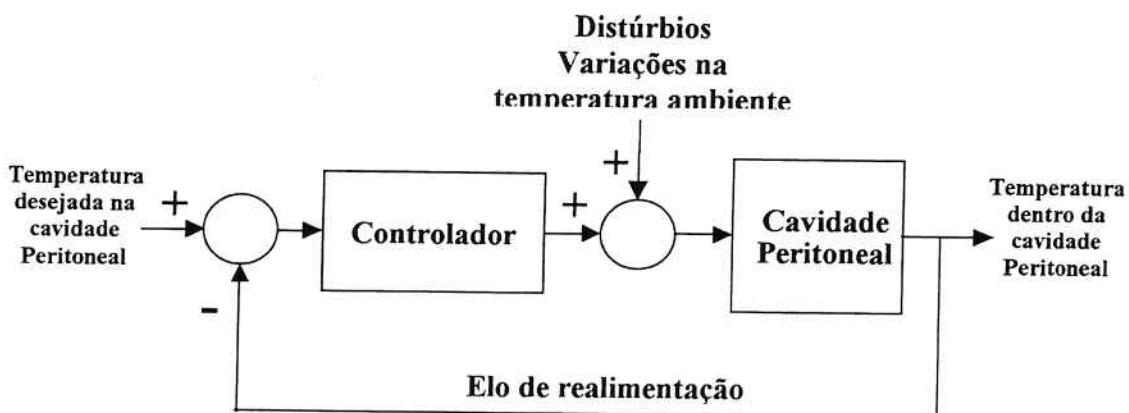
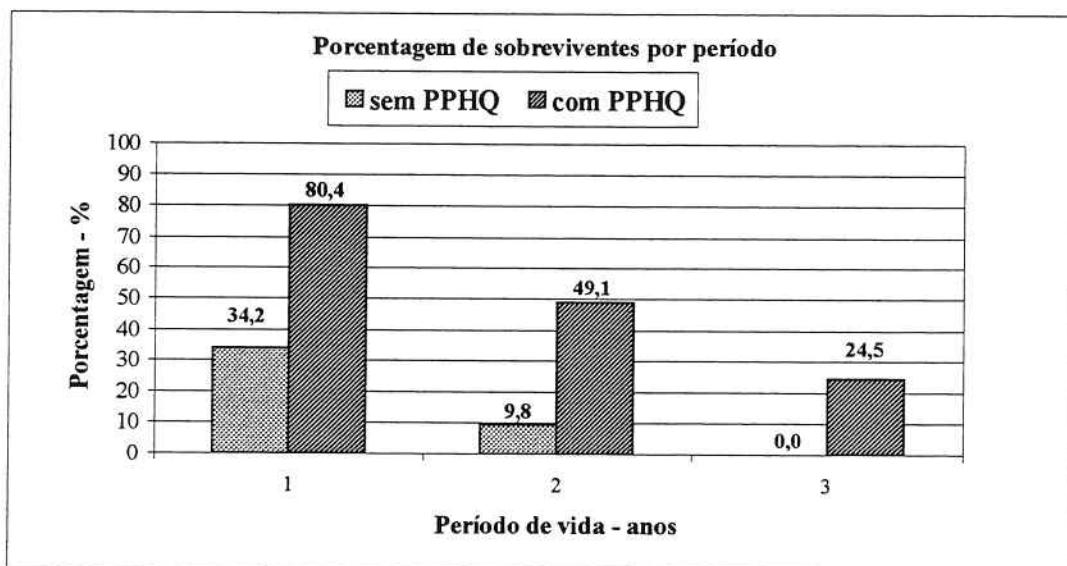


Figura 1.1 Sistema de controle em malha fechada

A expectativa de sobrevida após o procedimento cirúrgico sem a aplicação de PPHQ [5], e com a aplicação de PPHQ é mostrada na figura 1.2.

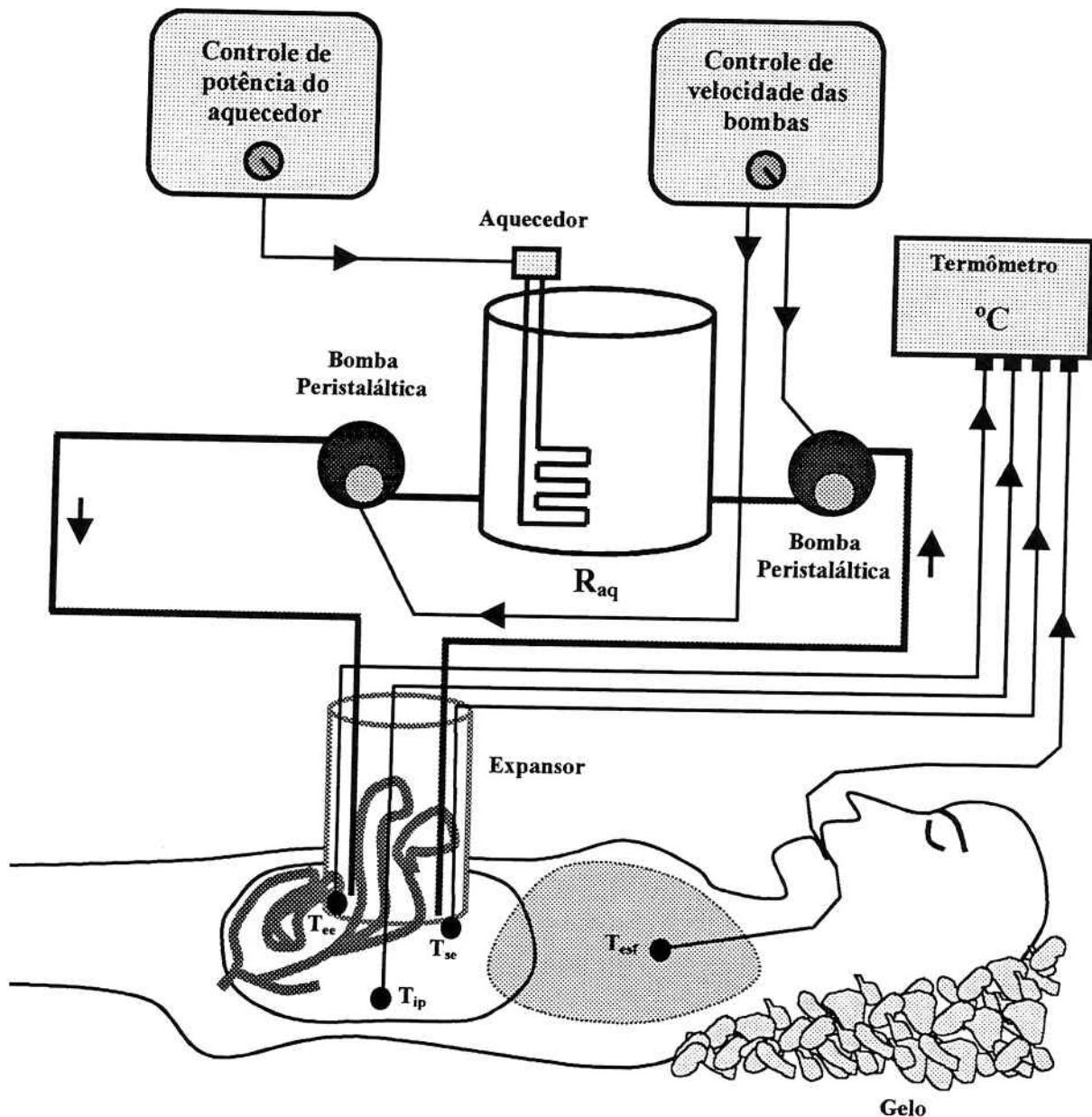


**Figura 1.2** Gráfico de sobrevida pós-operatória sem PPHQ e com PPHQ

## 2. PERFUSÃO PERITONEAL COM HIPERTERMIA E QUIMIOTERAPIA

A técnica da PPHQ, Perfusion Peritoneal com Hipertermia e Quimioterapia [1,2,3,4,5,8,9], é um método terapêutico para auxiliar no tratamento de pacientes, que possuem tumores em tecidos de órgãos dentro do abdome e está sendo realizado ao final da fase operatória, logo após a retirada dos tumores. Os objetivos da PPHQ são de “lavar” células neoplásicas livres na cavidade peritoneal e destruir células cancerosas e focos de micrometástases que já estejam aderidos à superfície peritoneal [6,7,8,9].

No procedimento atualmente utilizado pelas equipes cirúrgicas [1,2,3,4,5,7,8,9], não existe controle efetivo da temperatura intraperitoneal, ponto crítico do problema [10], nem do fluxo da bomba, mas sim a monitoração visual constante dos valores de temperatura tidos como importantes para a obtenção de um bom resultado da terapia em uso. Ajusta-se a temperatura e o fluxo do líquido de perfusão manualmente com o auxílio de dispositivos eletrônicos de controle de potência , ilustrado na figura 2.1.

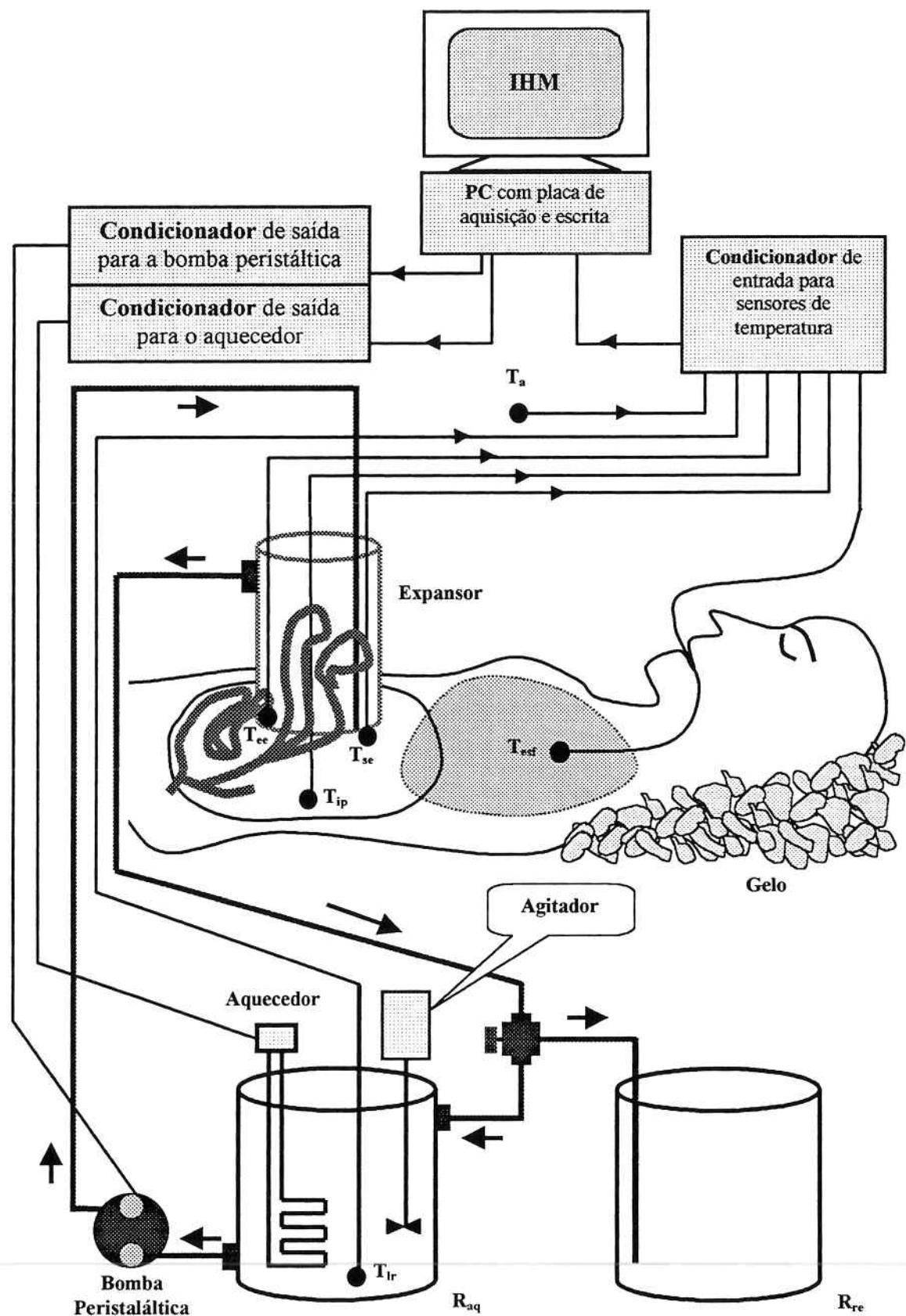


**Figura 2.1** Esquema atualmente utilizado na PPHQ

### 3 - SISTEMA DE CONTROLE

#### 3.1 Sistema Proposto

Deseja-se um sistema totalmente controlado e monitorado, mostrado na figura 3.1. Nele, todas as tarefas de controle são automáticas não dependendo de intervenção humana para entrar em equilíbrio. A intervenção só se faz necessária na fase preparatória, no início da aplicação e na finalização.



**Figura 3.1** Esquema do sistema proposto para efetuar a PPHQ

### 3.2 Descrição dos componentes de hardware do sistema

São descritos todos os elementos de Hardware que fazem parte da arquitetura do sistema de controle. Especial atenção é dada aos condicionadores de saída para acionamento do motor da bomba peristáltica e para o controle da potência entregue à resistência do aquecedor, pois foram especificamente construídos para este projeto.

## 4 - PROJETO

### 4.1 Modelo

É descrita a planta que foi utilizada para a execução dos vários experimentos realizados na coleta de dados. Em seguida é mostrado o modelamento matemático conforme Laganaro [14], que com os dados colhidos e utilizando técnicas de controle, elaborou o modelo. É feita uma revisão nas simulações [14] para validação do modelo.

Escolhe-se o controlador, definem-se seus parâmetros e monta-se o modelo com o controlador escolhido.

Neste modelo executam-se simulações com o objetivo de analisar se o desempenho do controlador projetado está de acordo com os critérios da especificação.

### 4.2 Modelo com Controlador PID

O modelo mostrado a seguir foi o utilizado nas diversas simulações durante o projeto:

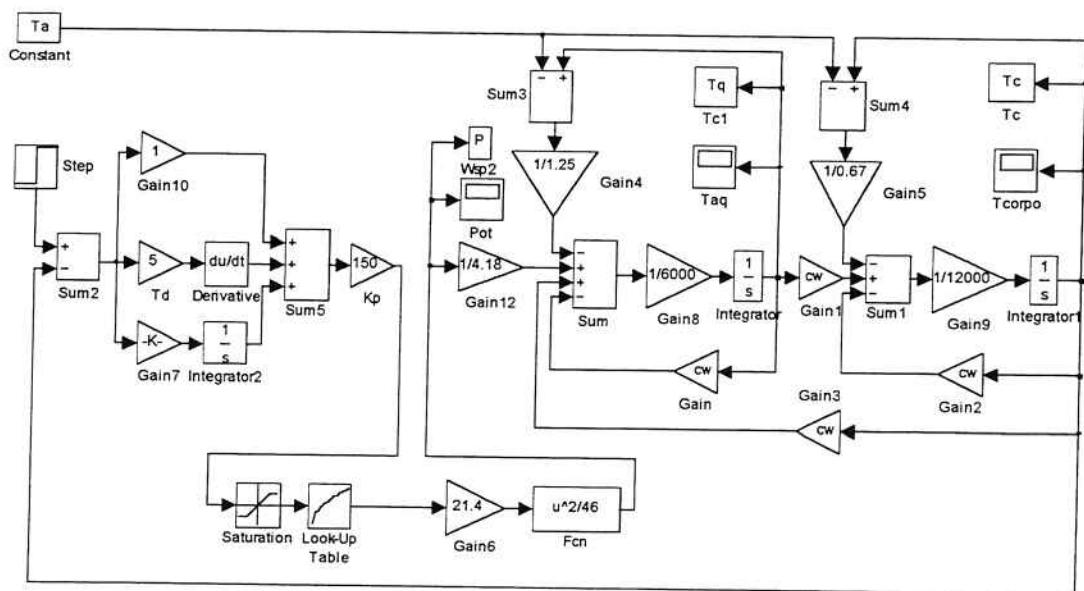


Figura 4.10 Diagrama em blocos do modelo com controlador PID

Durante as simulações verificou-se que com a dinâmica imposta pela bomba peristáltica ao sistema, não se consegue atingir o desempenho desejado.

## 5. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

### 5.1 Montagem utilizada nos experimentos

Os experimentos foram realizados em um protótipo utilizando-se a planta de PPHQ (figura 5.1).

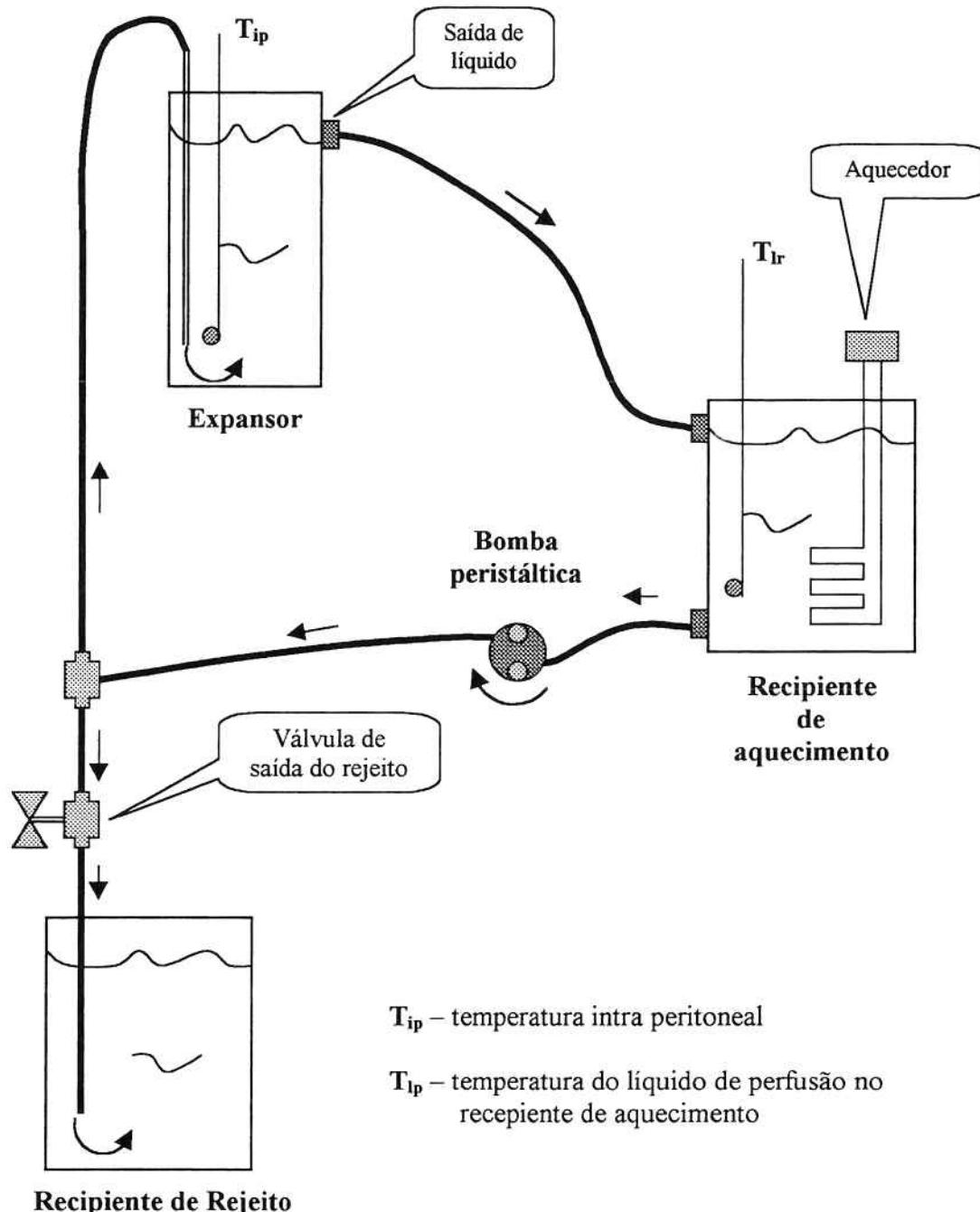
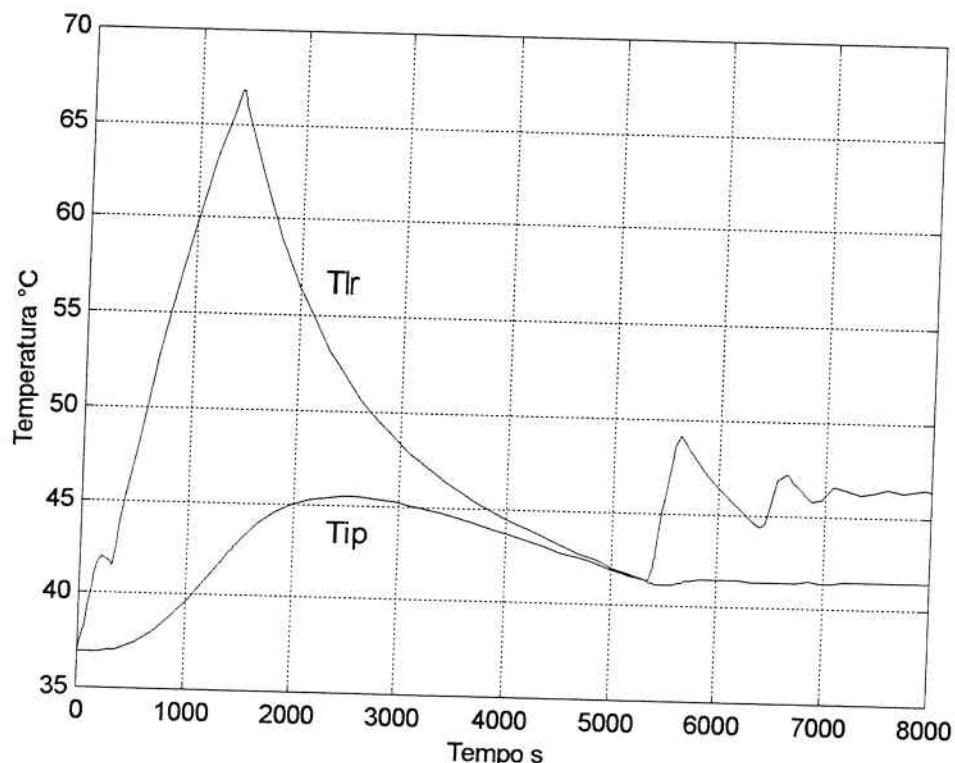


Figura 5.1 Planta experimental para simulação da PPHQ

Nessa planta implementa-se o sistema de controle utilizando-se alguns equipamentos de hardware (por exemplo, condicionador de sinal), e o controlador projetado. Temos então o protótipo.

### 5.1 Experimentos com o controlador PID

Com o protótipo em funcionamento provoca-se um扰动 na entrada do sistema, conseguindo-se então medir o desempenho real do controlador projetado. A figura 5.2 e a tabela 5.1, mostram os resultados obtidos.



**Figura 5.2** Gráfico de resposta da planta com PID sintonia final ao degrau (vazão 270 ml/min)

**Tabela 5.1** Índices de desempenho: planta com PID sintonia final x especificado (vazão 270 ml/min)

	Valor especificado	Valor obtido em simulação
$M_p$	$\leq 5\% (44,1^\circ C)$	$45,3^\circ C$
$t_r$	$\leq 15 \text{ min}$	$19,18 \text{ min}$
$t_s$	$4\% (43,7^\circ C) \leq 20 \text{ min}$	$4\% \text{ em } 59,52 \text{ min}$
$E_e$	$\leq 0,5^\circ C$	$0,5^\circ C$



## 6. CONCLUSÃO

A proposta de projetar e implementar um controlador atuando em um sistema de controle dedicado a PPHQ, foi realizado com relativo sucesso, fornecendo dados importantes sobre a dinâmica do processo.

No que diz respeito a implementação, vale ressaltar todo o trabalho de engenharia que se preocupou em elaborar um sistema onde a segurança intrínseca é pré-requisito. O uso de componentes isoladores ópticos e transformadores no projeto dos condicionadores, comprova essa preocupação.

Houve também o cuidado em aumentar as facilidades operacionais da PPHQ como o uso de apenas uma bomba peristáltica, da emissão de alarme e alternativa para a retirada de rejeito, dando maior conforto à equipe cirúrgica.

Quanto ao controlador, os valores dos índices de desempenho do projeto não foram atingidos devido as características da bomba peristáltica utilizada, cuja pequena vazão não impõe ao sistema a dinâmica necessária para que o mesmo seja controlado conforme os índices de desempenho estipulados. Ficou caracterizado que as constantes físicas envolvidas impõem ao sistema a necessidade de uma maior dinâmica, que só é possível com o aumento do fluxo do líquido de perfusão, conforme comprovado nas simulações. Verificou-se também durante as simulações, que com uma vazão em torno de 1080 ml/min, o sistema é relativamente robusto aceitando alterações no fluxo de líquido de até 50% do valor nominal, sem perder o controle.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] YONEMURA, Y.; NINOMIYA, I.; KAJI, M.; SUGIYAMA, K.; FUJIMURA, K.; SAWA, T.; KATAYAMA, K.; TANAKA, S.; HIRONO, Y.; MIWA, K.; MYAZAKI, I. *Prophylaxis with Intraoperative Chemohyperthermia against Peritoneal Recurrence of Serosal Invasion-Positive gastric Cancer*. Word J. Surg. 19: 450-455, 1995.
- [2] FUJIMARA, T.; YONEMURA, Y.; MURAOKA, K.; TAKAMURA, H.; HIRONO, Y.; SAHARA, H.; NINOMIYA, I.; MATSUMOTO, H.; TSUGAWA, K.; NISHIMURA, G. -I.; SUGIYAMA, K.; MIWA, K.; MIYAZAKI, I. *Continuous Hyperthermic Peritoneal Perfusion for the Prevention of Peritoneal Recurrence of Gastric Cancer: Randomised Controlled Study*. Word J. Surg. 18: 150-155, 1994.
- [ ] 0 YONEMURA, Y.; FUJIMURA, T.; FUSHIDA, S.; TAKEGAWA, S.; KAMATA, T.; KATAYAMA, K.; KOSAKA, T.; YAMAGUCHI, A.; MIWA, K.; MIYAZAKI, I. *Hyperthermo-Chemotherapy Combined with Cytoreductive Surgery for the Treatment of Gastric Cancer with Peritoneal Dissemination*. Word J. Surg. 15: 5 0-5 6, 1991.
- [4] GILLY, F.N.; SAYAG, A.C.; CARRY, P.Y.; BRAILLON, G.G.; JAMES, I.M., VOLLOCH, A.A.; PANTEIX, G.G. *Intra-Peritoneal Chemo-Hyperthermia (CHIP): A New Therapy in the Treatment of Peritoneal Seedings*. Int. Surg. Vol.76 pg.164-167 Lyon, France, 1991.
- [5] FUJIMOTO, S.; SHRESTHA, R.D.; KOKUBUN, M.; KOBAYASHI, K.; KIUCHI, S., KONNO, C., OTHA, M., TAKAHASHI, M., KITSUKAWA, Y., MIZUTANI, M.; CHIKENJI, T.; OKUI, K. *Positive Results of Combined Therapy of Surgery and Intraperitoneal Hypertermic Perfusion for Far-advanced Gastric Cancer*. Am Surg. Vol.212.nº5 pg.592-596 Chiba, Japan, November 1990

- [6] CARVALHO, LUIZ EDUARDO BERNARDI de. **Perfusão Peritoneal com Hipermoria e quimioterapia no tratamento adjuvante do câncer de estômago.** Dissertação (mestrado) – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 1999
- [7] KOGA,S.; HAMAZOE,D.; MAETA,M.; SHIMIZU,N.; MURAKAMI,A.; WAKATSUKI,T. **Prophylactic Therapy for Peritoneal Recurrence of Gastric Cancer by Continuous Hypertermic Peritoneal Perfusion with Mitomycin C.** Cancer, V.61, p.232-7,1988.
- [8] FUJIMOTO, S.; SHRESTHA, R.D.; KOKUBUN, M.; OHTA,M.; TAKAHASHI,M.;KOBAYASHI,K.; KIUCHI,S.; OKUI,K.; MIYOSHI,T.; ARIMIZU,N.; TAKAMIZAWA,H. **Intraperitoneal Hypertermic Perfusion combined with surgery effective for Gastric Cancer pacientes wit Peritoneal seeding.** Ann. Surg.,V.208,p.36-41,1988.
- [9] FUJIMOTO, S.; SHRESTHA, R.D.; KOKUBUN, M.; KOBAYASHI,K.; MIZUTANI, M.; OKUI,K. **Clinical trial with Surgery and Intraperitoneal Hypertermic Perfusion for Peritoneal recurrence of Gastrointestinal Cancer.** Cancer,V.64,p.154-160,1989.
- [10] ELIAS, D.; DETROZ, B.; DEBAENE, B.; DAMIA, E.; LECLERCQ, B.; ROUGIER, P.; LASSER, P. **Treatment of peritoneal carcinomatosis by intraperitoneal chemo-hyperthermia: reliable and unreliable concepts.** International Surg., v.84, p.60-6, 1999.
- [11] OGATA, KATSUHIKO. **Engenharia de Controle Moderno.** 2<sup>a</sup> edição, Prentice-Hall do Brasil 1993.
- [12] OGATA, KATSUHIKO. **Solução de Problemas de Engenharia de Controle com MATLAB®.** Prentice-Hall do Brasil 1997.
- [13] IOTECH, INC. **Signal Conditioning & PC-based Data Acquisition Handbook.** IOtech, Inc. First Edition. United States of America, 1997.
- [14] LAGANARO, ARNALDO. **Controle Avançado de Temperatura para PPHQ,** Poli USP.
- [15] GARCIA, CLAUDIO. **Modelagem e Simulação,** EDUSP, Editora da Universidade de São Paulo, 1997.
- [16] ZIEGLER, J.G.; NICHOLS, N.B. **Optimum Setting for Automatic Controllers.** Trans. AMSE, v.65, p.433- 44, 1943.
- [17] ASTRÖM, K.J.; HÄGGLUND. **Automatic Tuning of PID Controllers,** ISA, Instrument Society of America, 1995.
- [18] CRUZ, JOSÉ JAIME. **Controle I ,** EDUSP, Editora da Universidade de São Paulo, 1997.

## BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PTC/9901 – Avaliação de Ergoespirômetros Segundo a Norma NBR IEC 601-1- MARIA RUTH C. R. LEITE, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE B. MORAES
- BT/PTC/9902 – Sistemas de Criptofonia de Voz com Mapas Caóticos e Redes Neurais Artificiais – MIGUEL ANTONIO FERNANDES SOLER, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/9903 – Regulação Sincronizada de Distúrbios Senodais – VAIDYA INÉS CARRILLO SEGURA, PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PTC/9904 – Desenvolvimento e Implementação de Algoritmo Computacional para Garantir um Determinado Nível de Letalidade Acumulada para Microorganismos Presentes em Alimentos Industrializados – RUBENS GEDRAITE, CLÁUDIO GARCIA
- BT/PTC/9905 - Modelo Operacional de Gestão de Qualidade em Laboratórios de Ensaio e Calibração de Equipamentos Eletromédicos – MANUEL ANTONIO TAPIA LÓPEZ, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PTC/9906 – Extração de Componentes Principais de Sinais Cerebrais Usando Karhunen – Loève Neural Network – EDUARDO AKIRA KINTO, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PTC/9907 – Observador Pseudo-Derivativo de Kalman Numa Coluna de Destilação Binária – JOSÉ HERNANDEZ LÓPEZ, JOSÉ JAIME DA CRUZ, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/9908 – Reconhecimento Automático do Locutor com Coeficientes Mel-Cepstrais e Redes Neurais Artificiais – ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PTC/9909 – Análise de Estabilidade e Síntese de Sistemas Híbridos – DIEGO COLÓN, FELIPE MIGUEL PAIT
- BT/PTC/0001 – Alguns Aspectos de Visão Multiescalas e Multiresolução – JOÃO E. KOGLER JR., MARCIO RILLO
- BT/PTC/0002 – Placa de Sinalização E1: Sinalização de Linha R2 Digital Sinalização entre Registradores MFC- PHILLIP MARK SEYMOUR BURT, FERNANDA CARDOSO DA SILVA
- BT/PTC/0003 – Estudo da Técnica de Comunicação FO-CDMA em Redes de Fibra Óptica de Alta Velocidade – TULIPA PERSO, JOSÉ ROBERTO DE A. AMAZONAS
- BT/PTC/0004 – Avaliação de Modelos Matemáticos para Motoneurônios – DANIEL GUSTAVO GOROSO, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PTC/0005 – Extração e Avaliação de Atributos do Eletrocardiograma para Classificação de Batimentos Cardiacos – ELDER VIEIRA COSTA, JOSÉ CARLOS T. DE BARROS MORAES
- BT/PTC/0006 – Uma Técnica de Imposição de Zeros para Auxílio em Projeto de Sistemas de Controle – PAULO SÉRGIO PIERRI, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PTC/0007 – A Connected Multireticated Diagram Viewer – PAULO EDUARDO PILON, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PTC/0008 – Some Geometric Properties of the Dynamic Extension Algorithm – PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PTC/0009 – Comparison of Alternatives for Capacity Increase in Multiple-Rate Dual-Class DS/CDMA Systems – CYRO SACARANO HESI, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PTC/0010 – Reconhecimento Automático de Ações Faciais usando FACS e Redes Neurais Artificiais – ALEXANDRE TORNICE, EUVALDO F. CABRAL JUNIOR
- BT/PTC/0011 – Estudo de Caso: Tornando um Projeto Testável Utilizando Ferramentas Synopsis – REINALDO SILVEIRA, JOSÉ ROBERTO A. AMAZONAS
- BT/PTC/0012 – Modelos Probabilísticos para Rastreamento em Carteiras de Investimento – HUGO G. V. DE ASSUNÇÃO, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PTC/0013 – Influência de um Controle Imperfeito de Potência e Monitoramento da Atividade Vocal na Capacidade de Sistemas DS/CDMA – MÁRCIO WAGNER DUARTE ROLIM, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PTC/0014 – Canceladores de Interferência Sucessivo e Paralelo para DS/CDMA – TAUFIK ABRÃO, PAUL JEAN E. JESZENSKY
- BT/PTC/0015 – Transmissão de Serviços de Multimídia num Sistema Móvel Celular CDMA de Banda Larga – EDUARDO MEIRELLES MASSAUD, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PTC/0016 – Disseminação do HIV em uma População Homossexual Heterogênea – MARCOS CASADO CASTÑO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PTC/0017 – Implementação e Avaliação em Laboratório de um Monitor Cardíaco Portátil para Três Derivações – RAISA FERNÁNDEZ NUNEZ, JOSE CARLOS TEIXEIRA DE BAROS MORAES
- BT/PTC/0018 – Projeto de Filtros Recursivos de N-ésima Banda – IRINEU ANTUNES JÚNIOR, MAX GERKEN
- BT/PTC/0019 – Relative Flatness and Flatness of Implicit Systems – PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA, CARLOS CORRÊA FILHO
- BT/PTC/0020 – Estimativa de Fluxo Sangüíneo nas Artérias Coronárias Usando Imagens de Cineangiografia – ANA CRISTINA DOS SANTOS, SÉRGIO SHIGUEMI FURUI
- BT/PTC/0021 – Modelos Populacionais para AIDS e Análise do Equilíbrio sem Epidemia – ELIZABETH FERREIRA SANTOS, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA

BT/PTC/0101 – Model-Based Soft-Sensor Design for On-Line Estimation of the Biological Activity in Activated Sludge Wastewater Treatment Plants – OSCAR A. Z. SOTOMAYOR, SONG WON PARK, CLAUDIO GARCIA

BT/PTC/0102 – Reconhecimento Automático do Locutor Utilizando a Rede Neural Artificial *Field Distributed Memory* – FDM – MARCELO BLANCO, EUVALDO F. CABRAL JR.

BT/PTC/0103 – Algoritmos de Filtragem e Previsão em Modelos de Volatilidade – FERNANDO LOVISOTTO, OSWALDO L. V. COSTA

BT/PTC/0104 – Método de Diferenças Temporais Aplicado às Equações de Riccati Acopladas entre Si – OSWALDO L. V. COSTA, JULIO C. C. AYA

BT/PTC/0105 – Método de Diferenças Finitas e de Monte Carlo em Derivativos – ANDRÉ CURY MAIALI, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA

BT/PTC/0106 – Resolução de um Problema Inverso de Eletromagnetismo por Meio de Redes Neurais Artificiais – ARNALDO MEGRICH, JORGE MIECZYSLAW JANISZEWSKI

