

# 1 Introdução

## 1.1. Motivação

Os fenômenos transitórios em sistemas hidráulicos, que podem causar sérios problemas aos equipamentos e tubulações. Tem sido tratados através das mais variadas abordagens, dando margem ao desenvolvimento de diferentes teorias e metodologias de análise e simulação.

Diversos são os fatores que podem ocasionar uma mudança no regime permanente de um escoamento. No caso da linha fluida de uma planta de processo podem-se enumerar alguma das causas para este distúrbio:

1. Mudanças no ajuste de uma válvula, acidental ou planejada.
2. Partida ou parada de bombas
3. Variações nos elementos de consumo
4. Variações na elevação dos reservatórios
5. Vibrações geradas por equipamentos defeituosos

Todos os métodos de análises de fenômenos transporte são construídos com base nas equações da continuidade, da quantidade de movimento linear, da energia e de relações entre propriedades físicas associadas ao fenômeno. Através de diferentes suposições restritivas, diversos métodos, analíticos e gráficos, foram elaborados e utilizados até a década de 60. Esses métodos, até então os únicos disponíveis, são aproximados e muito difíceis de serem utilizados para analisar sistemas de grande porte ou que possuem condições de contorno complexas.

A partir de 1960, com o surgimento e aprimoramento dos computadores digitais, novos métodos numéricos foram elaborados, tais como o Método Explícito de Diferenças Finitas, o Método Implícito de Diferenças Finitas e o Método das Características, obtendo sucesso nas soluções de uma variedade de problemas transientes. Lamentavelmente, os programas computacionais baseados no Método das Características são poucos flexíveis e têm a desvantagem de estarem limitados a casos particulares e de apresentar dificuldades para modelar a interação entre os diferentes domínios de energia: hidráulico, mecânico, elétrico, etc., como ocorre, por exemplo, em uma central hidrelétrica. Seu principal mérito é a exatidão, por considerar a tubulação como um modelo de parâmetros distribuídos.

Um método que não tem estas limitações e que começou a ser utilizado em aplicações multidomínio na década de 70 é a técnica dos Grafos de Ligação. Curiosamente, esta técnica foi criada pelo professor Henry Paynter para modelar justamente a interação entre os subsistemas hidráulico, mecânico e elétrico no processo de geração hidrelétrica, embora tenha sido utilizada mais popularmente em outras aplicações.

A grande desvantagem dos grafos de ligação é sua representação gráfica, uma vez que descrito por uma simbologia própria da técnica e só então modelado matematicamente.

No caso do fluxo de potência, o modelo dinâmico pode ser obtido a partir de qualquer metodologia (Speranza Neto, 1999), através de uma forma matemática qualquer, empregando qualquer conjunto de variáveis, pode-se sempre definir como variáveis de saída as chamadas variáveis de potência: esforço e fluxo generalizados. Pode-se então obter modelos complexos a partir do acoplamento de diversos modelos menores desde que as condições de compatibilidade sejam satisfeitas.

## **1.2. Objetivo**

O objetivo principal deste trabalho de dissertação é o estudo da utilização da metodologia do Fluxo de Potência associada aos Grafos de Ligação para simulação de transientes em linhas fluidas. Pretende-se, por exemplo, verificar a aplicabilidade desta abordagem na determinação dos efeitos do golpe de aríete provocado pelo fechamento rápido de válvulas no conduto forçado. São propostos diversos modelos de linha fluida através de fluxo de potência para determinação da representação mais adequada para cada condição. As simulações através do Fluxo de Potência são confrontadas com as realizadas com base no método das Características.

## **1.3. Revisão Bibliográfica**

A análise da dinâmica de sistemas fluidos requer a compreensão tanto da operação das válvulas, quanto do comportamento das linhas. Existem diversos modelos que representam com maior ou menor detalhe o comportamento dos elementos desses sistemas. A seguir relacionam-se alguns dos trabalhos onde são apresentadas análises relativas ao tema exposto nesta dissertação

MCADAMS et al., (1969), apresentaram em seu trabalho os resultados dos testes de resposta utilizando fluidos à base de água e de óleo nas mangueiras de controle com comprimentos de 4023 a 42647 metros. O trabalho discute a possibilidade da utilização de simulações numéricas baseadas em medidas realizadas em laboratório para a definição das propriedades das mangueiras nos projetos dos sistemas de controle para diversas situações. São apresentadas curvas de resposta no domínio do tempo.

KOVIT, (1969), oferece uma discussão qualitativa e uma estimativa do desempenho de umbilicais.

MANUEL e HALL, descrevem as características do tempo de resposta do sistema de controle hidráulico direto para árvores de natal instaladas no campo de Cadlao nas Filipinas. Vinte e nove diferentes condições de operação são testadas

experimentalmente com o objetivo de uma comparação com as previsões analíticas. São também apresentadas diversas curvas de resposta do sistema.

INAYAT-HUSSAIN et al., (1988), apresenta um modelo matemático do sistema hidráulico de controle utilizado nos campos de produção de Jabiru e Challis no mar do Timor. Neste trabalho são apresentadas as curvas de resposta no tempo para as posições dos pistões dos atuadores e para o decaimento da pressão em 2,8 km e e 5,7 km de umbilical.

O'MAHONY, (1989), em seu trabalho faz uma analogia entre sistemas hidráulicos e elétricos e apresenta um modelo que representa a rigidez do fluido combinada com a rigidez estrutural da mangueira. São mostrados alguns resultados numéricos que são comparados com curvas obtidas experimentalmente.

SOUZA e SANTOS (1993), descreve o estudo de transitórios hidráulicos em função de variações de potência e frequência que ocorrem em sistemas hidráulicos. Neste trabalho são utilizados modelos não lineares e feitas comparações com exemplos da literatura através do método das características.

OVE BRATLAND (1995), discute os modelos matemáticos disponíveis para a simulação do escoamento transiente e estacionário em umbilicais. Ênfase é dada aos sistemas submarinos. Medições são comparadas com simulações e uma boa concordância é obtida. Os resultados mostram que a dinâmica e o tempo de resposta de um sistema de controle hidráulico submarino podem ser influenciados por parâmetros como as propriedades elásticas do umbilical, as propriedades visco-elásticas do umbilical e a transição entre escoamento laminar e turbulento, e ainda algum mecanismo de propagação dependente da frequência.

EUPHEMIO, (1998), em sua dissertação aborda a modelagem do escoamento transiente de fluidos newtonianos em tubos de paredes finas, enfatizando a aplicação deste modelo a sistemas hidráulicos submarinos de controle de produção de petróleo. O escoamento é considerado unidimensional. O modelo é resolvido numericamente pelo método das características para obtenção dos pares pressão e vazão em cada seção de linha.

BLAZIC et al., (2004), propõe modelos gerais e linearizados para a simulação de linhas hidráulicas utilizadas no transporte de diferentes fluidos.

PIRES et al., (2005), em se trabalho apresenta resultados que mostram que o tipo de sistema de alívio e sua localização no duto afetam diretamente os valores de pressão gerados no transiente. Além disso, compara o comportamento do

sistema de alívio de mola e de disco de ruptura utilizando as ferramentas de um programa comercial e utilizando a modelagem com o método das características.

#### **1.4. Organização do Trabalho**

Esta dissertação esta estruturada em cinco capítulos, onde no primeiro encontra-se a Introdução. No segundo capítulo é apresentado o modelo clássico para cálculo de transitórios através do método das características, utilizando as equações fundamentais da mecânica dos fluidos. Também são tratadas algumas condições de contorno para utilização em conjunto com essa metodologia. No final deste capítulo é descrita uma técnica para obtenção de uma analogia dos circuitos elétricos e hidráulicos.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia de modelagem de uma linha fluida através de fluxo de potência e grafo de ligação, utilizando a analogia de circuitos elétricos descrita no segundo capítulo. Também são tratadas algumas condições de contorno empregado estas metodologias.

As simulações realizadas são apresentadas no quarto capítulo, tanto para os modelos obtidos através do fluxo de potência quanto para os obtidos através do método das características. Finalmente, no Capítulo 5 são discutidas as conclusões e sugestões da dissertação.