

Uma Nova Abordagem Para o Encaminhamento Automático de Tubulações em Projetos de Plantas Industriais

Ewerton E. S. Calixto,^a Paula G. Bordeira,^a Hugo T. Calazans,^a Cesar A. C. Tavares,^a Marco T. D. Rodriguez^a

^a*Chemtech Serviços de Engenharia e Software LTDA, Rua da Quitanda, 50, andar 21, Rio de Janeiro – RJ, CEP 20011-030, Brazil*

Resumo

A fase de FEED (front-end engineering and design) de um projeto de planta industrial tem como objetivo analisar a viabilidade econômica de execução de um empreendimento produzindo estimativas mais precisas de custos. Estudos de FEED realizados com sucesso garantem que decisões tomadas com antecedência nos investimentos podem ser feitas mais rapidamente pelo investidor ou dono do negócio. Desta maneira as partes envolvidas são alinhadas com os objetivos do projeto, minimizando os riscos envolvidos na compra dos materiais necessários para a construção da obra. O encaminhamento de tubulações é uma etapa crucial em um projeto, representando aproximadamente 20% do custo total do negócio para a indústria com um todo. Este presente trabalho discute o estado da arte no que diz respeito ao encaminhamento de tubulação em projetos de plantas industriais e apresenta uma implementação efetiva de software para a automação do processo de encaminhamento de tubulações. Os resultados obtidos mostram que a solução desenvolvida é capaz de minimizar os custos com homem-hora, envolvidos na fase FEED de um projeto e fornecer, em termos quantitativos um encaminhamento de tubulações satisfatório.

Palavras-chave: Encaminhamento automático de tubulações, Automação, Projetos Industriais, Relatório de quantitativos de materiais.

1. Introdução

Artigos e revistas em gerenciamento de projetos indicam que aproximadamente 70% de todos os projetos executados durante os últimos cinco anos não foram concluídos no tempo planejado ou dentro do orçamento previsto (Saputelli et al., 2008). Por esse motivo a otimização do tempo, custos, materiais, e recursos humanos são aspectos importantes a serem considerados durante o ciclo de vida de um projeto.

Um estudo de FEED (front-end engineering and design) é uma abordagem da Engenharia de Processos aplicada durante os estágios preliminares de um projeto de plantas industriais. A estratégia desse tipo de estudo consiste em duas principais atividades: (1) determinar a viabilidade econômica do empreendimento e (2) produzir estimativas de custos mais precisas. Durante a fase de FEED de um projeto, cerca de 80% dos custos de desenvolvimento totais são determinados (Peters and Timmerhaus, 1991). Separando as duas atividades mencionadas acima e desempenhando-as mais cedo no projeto, é possível obter uma vantagem melhor das definições de escopo, reduzindo os riscos e custos no projeto.

Um importante conceito para o entendimento das atividades de estudo da fase FEED diz respeito à extração de relatórios de quantitativos de materiais (MTO – Materials Take Off). MTO é uma lista contendo todos os materiais a serem usados na execução de um determinado projeto. Estudos de FEED realizados com sucesso garantem que decisões tomadas com antecedência nos investimentos podem ser feitas mais rapidamente pelo investidor ou dono do negócio. Desta maneira as partes envolvidas são alinhadas com os objetivos do projeto, minimizando riscos envolvidos na compra

dos materiais. Neste contexto, é importante que os MTOs forneçam estimativas confiáveis (Burdorf et al., 2004).

Devido à complexidade e ao tempo intensivo na avaliação, a modelagem dos itens de tubulação representa uma parcela significativa dos custos globais de projetos de plantas industriais.

O principal objetivo deste presente estudo consistiu no desenvolvimento de um sistema integrado, o qual poderia reduzir o tempo de projeto e a precisão na análise qualitativa durante as atividades de encaminhamento de tubulações em uma fase de FEED de projetos de plantas industriais.

O princípio de projeto adotado para os estágios de desenvolvimento do sistema proposto consistiu na criação de um ambiente de software que poderia comunicar com outros tipos de aplicações, tais como, softwares computacionais (CAD).

Este artigo propõe uma ferramenta de encaminhamento de tubulações baseada em regras para a diminuição do tempo necessário para a execução de projetos FEED. Os resultados obtidos indicam que o sistema desenvolvido é capaz de reduzir custos com homem-hora e custos envolvidos na fase FEED de um projeto, fornecendo, em termos quantitativos, um encaminhamento de tubulações satisfatório.

2. Tubulações em projetos de plantas industriais

A importância das tubulações em uma planta industrial é enorme. Todas as indústrias contêm redes de tubulações que são responsáveis por transportar diferentes tipos de fluidos. Cada parte de uma rede de tubulações possui uma regra específica, que são essenciais para que a planta opere com eficiência (Telles, 2001).

No contexto da indústria de processos, as redes de tubulações têm uma grande influência no projeto global, conectando equipamentos, tais como vasos, reatores, tanques, bombas e trocadores de calor. O estudo do arranjo de plantas industriais analisa a configuração espacial mais econômica, respeitando restrições no tocante à fatores que envolvem construção, segurança, operação e manutenção (Mecklenburgh, 1985).

Conforme citado por (Telles, 2001), valores de tubulação para a indústria de processos químicos representam algo em torno de 20% e 25% do total de custos na construção de plantas industriais. Adicionalmente, a montagem das tubulações atinge, em média, entre 45% e 50% das despesas no arranjo de equipamentos, enquanto que o projeto de modelagem de tubulações é da ordem de aproximadamente 20% do projeto industrial como um todo. Portanto, a modelagem de tubulações e outras atividades correlatas são comumente considerados os mais desafiadores esforços durante um projeto de plantas industriais (Kentish, 1982). A modelagem de tubulações deve levar em consideração não apenas fatores econômicos, mas também requisitos de suporte e flexibilidade e muitos outros aspectos mecânicos (Guirardello and Swaney, 2005).

As atividades na engenharia de tubulação dependem de várias regras e princípios que necessitam ser cumpridos durante as fases de modelagem, construção e manutenção de um projeto. Projetos de tubulação envolvem uma rede complexa de componentes incluindo tubos, flanges, suportes, juntas, parafusos, válvulas, filtros e juntas de expansão. Estes elementos estão disponíveis para uma variedade de materiais, tipos e tamanhos e são fabricados de acordo com padrões proprietários nacionais ou internacionais. Outros aspectos tais como a necessidade de segurança, deveriam ser considerados durante o ciclo de vida da modelagem de tubulações. Redes de tubulações contendo fluidos perigosos, por exemplo, devem ser protegidos de danos por impactos mecânicos externos, vazamentos de tubulações adjacentes e fontes externas de calor. Além disso, os princípios de modelagem devem também fornecer aos colaboradores de uma unidade industrial condições seguras de acesso para a execução de operação, inspeção e tarefas de manutenção, bem como garantir que os suportes de tubulação sejam modelados de forma a atender às condições de resistência ao impacto e robustez mecânica para suportar as cargas exercidas nos tubos (Holmes, 1973).

A metodologia FEL (front-eding loading) é uma abordagem utilizada em projetos de engenharia de forma a assegurar que a análise de capital de um investimento será executada durante o ciclo de

vida de projetos de plantas industriais. A adoção da metodologia FEL na indústria de óleo e gás contribui para a integração entre metas de ordem financeira e técnica de forma a reduzir custos de projeto, aumentar a eficiência operacional e maximizar os lucros advindos do empreendimento (Saputelli et al., 2008). A definição da fase FEL de um projeto corresponde à etapa de FEED que envolve: engenharia básica, planos de operações, plano de riscos e atividades de contrato e sancionamento. A vantagem fundamental desta metodologia é antecipar a fase de construção de uma planta e o retorno no investimento (ROI) de um dado projeto.

3. Encaminhamento Automático de Tubulações CAD softwares

De forma a permitir a diminuição dos esforços necessários para a modelagem de plantas industriais de processo, uma grande variedade de ferramentas de desenho assistido por computador (computer-aided design, CAD) vem sendo proposta nas últimas décadas. Dentre estes produtos está o AVEVA PDMS, que disponibiliza o PDMS Router, uma ferramenta nativa para o encaminhamento automático de linhas de tubulação. O ambiente disponibilizado pelo PDMS cria rotas de linhas de tubulação ortogonalmente, segundo princípios associados à teoria dos grafos (Guibbons, 1985) e a um algoritmo de menor caminho (Wang and Crowcroft, 1992) que visam minimizar a quantidade de material de tubulação necessária para o encaminhamento da linha.

O objetivo do PDMS Router é minimizar os custos de material e evitar interferências entre as linhas encaminhadas e os demais elementos da planta. O projetista de tubulação tem a opção de selecionar as linhas a serem submetidas ao processo de auto-encaminhamento, bem como criar restrições baseadas em planos e pontos no espaço tridimensional. O algoritmo de encaminhamento empregado pelo PDMS Router possui três diferentes modos operacionais, que são denominados por Level 1, Level 2 e Level 3. Inicialmente, o PDMS Router procura por um encaminhamento utilizando o modo Level 1. Caso nenhuma rota sem interferências seja encontrada, uma busca é feita com o modo Level 2. De forma complementar, caso nenhuma rota de Level 2 seja encontrada, então o modo a ser empregado para a próxima tentativa de roteamento é o Level 3.

Conforme apresentado na Figura 1, o modo operacional Level 1 busca por um encaminhamento ortogonal entre os pontos de início (head point, PH) e fim (tail point, TP) de uma linha, por meio da utilização de um número mínimo de curvas.

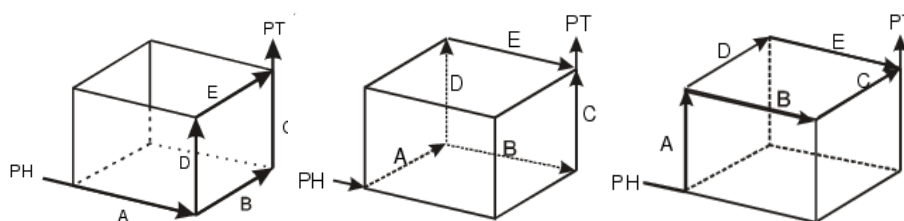


Figura 1. Level 1 (AVEVA Solutions Ltd., 2007).

Caso todos os roteamentos do tipo Level 1 estiverem bloqueados, PDMS Router tentará encaminhamentos do tipo Level 2. No Level 2, PDMS Router tentará alterar a rota contida no interior da caixa de tal forma a evitar a interferência. Nesta etapa, o PDMS Router tenta aplicar padrões de roteamento análogos aos utilizados no Level 1. Um exemplo de encaminhamento de Level 2 é mostrado na Figura 2 (a).

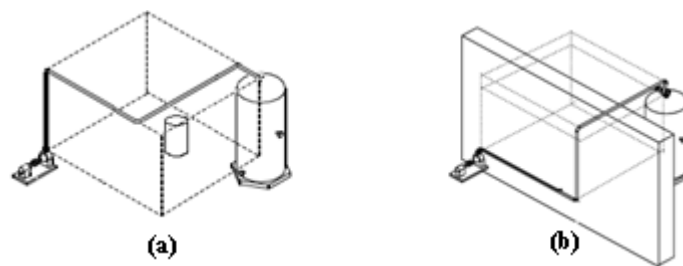


Figura 2. Level 2 (a) e Level 3 (b) (AVEVA Solutions Ltd., 2007).

Caso o PDMS Router não encontrar uma rota sem interferências utilizando roteamentos de Level 1 e de Level 2 (b). No modo Level 3, PDMS Router estenderá a caixa para fora até que a sua geometria interfira a obstrução. Após isto, o algoritmo tenta encaminhar a linha por meio da adoção de princípios similares aos empregados no Level 1.

É importante salientar que o PDMS Router não provê quaisquer outras automações além do encaminhamento propriamente dito das linhas de tubulação. Isto implica na necessidade de que o usuário realize todas as tarefas manuais necessárias ao funcionamento do PDMS Router, tais como criar a hierarquia de elementos de tubulação e determinar as especificações de material a serem seguidas pelas linhas, além de criar e conectar os pontos iniciais e finais de todos os ramos de cada uma das linhas. As funcionalidades de encaminhamento do PDMS Router somente podem ser utilizadas após todas as atividades citadas serem terminadas.

4. Rotina de Encaminhamento Automático de Tubulações

Com o propósito de reduzir o envolvimento humano nas tarefas que antecedem a execução do PDMS Router, uma arquitetura de software foi desenvolvida na linguagem de programação PML. O ambiente proposto deveria ser capaz de realizar os passos apresentados na Figura 3 e descritos abaixo.

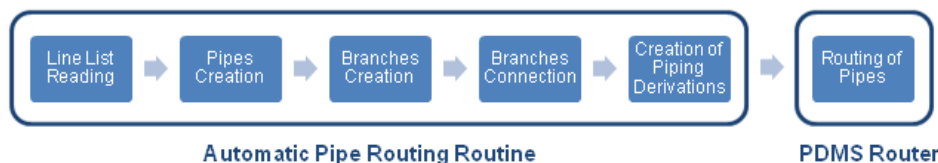


Figura 3. Fluxo de trabalho automatizado para o auto-encaminhamento de linhas de tubulação.

O fluxo de trabalho proposto consiste em uma cadeia de seis atividades. As cinco primeiras são logicamente agrupadas no aplicativo propriamente desenvolvido, o Automatic Pipe Routing Routine. Cada uma das atividades mencionadas é responsável por automatizar um passo diferente necessário para o processamento adequado do PDMS Router.

Inicialmente, a rotina lê a informação apresentada na lista de linhas. Usando tal informação, a rotina cria a hierarquia de elementos das linhas de tubulação respeitando as restrições concernentes às especificações de materiais apresentadas na supracitada lista. Após este passo, os *branches* são criados e então conectados aos seus pontos de conexão. Por meio da leitura da lista de linhas, a rotina avalia o número de derivações de tubulação necessárias para o encaminhamento de cada linha. As derivações mencionadas são criadas e então, como último passo do fluxo de trabalho, as linhas são auto-encaminhadas com o PDMS Router.

A principal vantagem de utilização desta rotina durante o projeto FEED é a possibilidade de se realizar uma avaliação precisa e de esforço reduzido dos materiais do projeto associados à disciplina de tubulação. As estimativas resultantes podem ser dadas em termos de dados de MTO relevantes,

tais como o peso ou o comprimento totais associados aos materiais de tubulação para a realização do projeto.

4.1. Um estudo de caso prático

Foram conduzidos alguns experimentos que permitiram uma melhor avaliação da arquitetura de software desenvolvida. Tais avaliações tiveram como base as linhas de tubulação de uma unidade de processo, a unidade de destilação atmosférica (UDA), pertencente a um projeto FEED da área de refino (Figura 4). As avaliações consistiram basicamente de uma comparação entre o comprimento total de itens de tubulação obtido por meio da modelagem manual das linhas e do quantitativo obtido após a execução da rotina para o auto-encaminhamento de linhas aqui proposto.

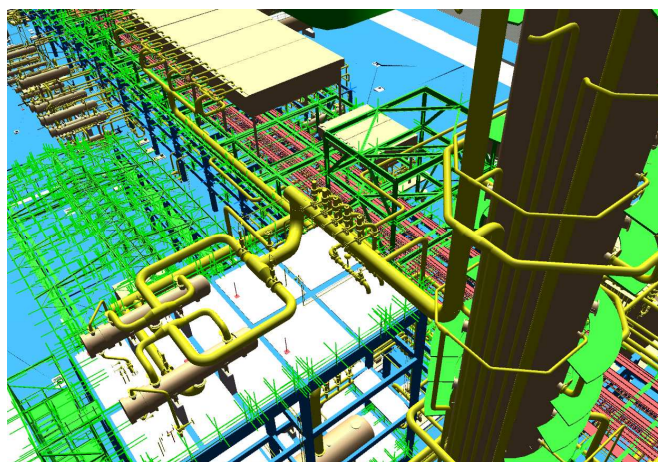


Figura 4. Conjunto de linhas da unidade de destilação atmosférica de um projeto da área de refino encaminhado com o propósito de servir como estudo de caso para o presente trabalho.

Foi escolhido um conjunto de quinze linhas descritas no fluxograma de engenharia da planta industrial. O objetivo era de encaminhar automaticamente as linhas selecionadas e comparar os resultados com os do encaminhamento manual realizado pela equipe de projetistas de tubulação responsáveis pela condução do projeto.

Conforme apresentado na Tabela 1, a comparação dos resultados indica um erro médio de 6,5% entre o comprimento total das linhas obtidas por meio da modelagem manual e do processo automático de encaminhamento de linhas. De acordo com a literatura (Telles, 2001), um erro desta magnitude representa uma margem confortável e confiável.

Tabela 1. Comparação de resultados referentes ao comprimento de linhas.

Comprimento Total (Com a Rotina) (m)	334.6
Comprimento Total (Sem a Rotina) (m)	312.86
Erro (%)	6.496

Este resultado dá uma boa margem no que diz respeito ao levantamento de quantitativos de materiais feitos em estudos de MTO. Desta forma, torna-se possível realizar a compra dos materiais de tubulação com um maior grau segurança e confiabilidade.

5. Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros é importante minimizar as diferenças existentes entre o encaminhamento realizado pelos projetistas e a rotina de auto-encaminhamento de tubulações. A versão atual do sistema proposto apenas leva em consideração a estimativa do comprimento total de tubos encaminhados. Entretanto para implementações futuras é de fundamental importância que haja uma estimativa dos pesos referentes às tubulações encaminhadas, que são dados essenciais para relatórios MTO. Outra possível abordagem seria melhorar a forma como o encaminhamento das tubulações é feito, obedecendo aos critérios de arranjo, como por exemplo, arranjo de válvulas, loops etc. Neste contexto outros fatores de arranjo, tais como flexibilidade de tubos e análises de tensões, poderiam ser levados em consideração na modelagem do arranjo. Tais considerações seriam utilizadas como uma estratégia apropriada para aumentar a precisão na estimativa de MTOs

6. Conclusões

A utilização da rotina para o encaminhamento automático de linhas de tubulação apresentado neste trabalho pode reduzir o tempo necessário para a produção de estimativas de MTO confiáveis ao final de estudos FEED para projetos associados ao domínio de estudo da Engenharia Química. Os resultados indicam que a solução concebida é capaz de automatizar estágios manuais e lentos anteriormente necessários para o processo de modelagem tridimensional das linhas de tubulação de plantas industriais. Os possíveis benefícios advindos da implantação da rotina em projetos da natureza aqui estudada podem impactar positivamente o trabalho dos mais variados grupos envolvidos na condução do projeto, desde projetistas de tubulação a investidores. Apesar das vantagens introduzidas pela nova técnica, ainda há espaço para melhorias. Tais melhorias dizem respeito, sobretudo, ao aumento da precisão dada pelas estimativas de MTO provindas pela rotina automatizada.

7. Referencias Bibliográficas

- AVEVA Solutions Ltd, Pipework Design User Guide, 2007.
- Bondy, J.A., Murty, U.S.R., 1982, Graph Theory with Applications, New York: Elsevier Science Publishing Co., Inc.
- Burdorf, A., Kampczyk B., Lederhose M., Schmidt-Traub H., 2004, CAPD – Computer Aided Plant Design, Computers and Chemical Engineering, 28, 73-81.
- Guibbons, A., 1985 Algorithmic Graph Theory, Cambridge University Press.
- Guirardello, R., Swaney, R.E., 2005, Optimization of Process Plant Layout with Pipe Routing, Computers and Chemical Engineering, 30, 99-114.
- Holmes, E., 1973, Handbook of industrial pipework engineering, first edition McGraw-Hill.
- Kentish, D., 1982, Industrial Pipework, McGraw Hill.
- Matsui, Y., Takagi, H., Emori, S., Masuda, N., Sasabe, S., Yoshimura, C., Shirai, T., Nioh, S., Kinno, B., 1979, Automatic Pipe Routing and Material Take-Off System, Proceedings of the 16th Conference on Design automation, 121-127, San Diego, CA, United States.
- Mecklenburgh, J.C., 1985, Process Plant Layout. New York: Halsted Press; John Wiley & Sons.
- Park, J.H., Storch, R.L., 2002, Pipe-routing Algorithm Development: Case Study of a Ship Engine Room Design, Expert Systems with Applications, 23, 299-309.
- Peters, M.S., Timmerhaus, K.D., 1991, Plant design and economics for chemical engineers, (4th ed.) New York: McGraw-Hill, Inc.
- Póvoa, A.P.B., Mateus, R., Novais, A.Q., 2002, Optimal Design and Layout of Industrial Facilities: An Application to Multipurpose Batch Plants, Ind. Eng. Chem. Res, 41, 3610-3620.
- Telles, P.C.S., 2001, Tubulações Industriais: Materiais, Projeto, Montagem, 10ª Edição, LTC.

- Saputelli, L. Hull, R. Alfonzo, A., Front End Loading Provides Foundation for Smarter Project Execution, Oil&Gas Financial Journal, Special Report Assessing & Managing Risk, PennWell Corporation.
- Wang, Z., Crowcroft, J., 1992, Analysis of Shortest-Path Routing Algorithms in a Dynamic Network Environment, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 22, 2, 63-71.