

FUNDAMENTOS SOBRE ENGENHARIA DE MODULARIZAÇÃO¹

Alexandre Luiz Amarante Mesquita²
Paulo Marcus Tropia Marotta³
Jeferson de Barros Alvarenga⁴

Resumo

Engenharia de Modularização consiste no projeto estrutural, mecânico, logístico e de montagem que pode ser aplicado na construção de instalações industriais de médio e grande porte através da fabricação e montagem de módulos individuais que representam partes completas da planta industrial. Estes módulos são fabricados em ambientes dimensionados e preparados previamente para armazenamento e montagem, fora do local final da planta, com todas as facilidades de construção disponíveis. Somente depois de fabricados, os módulos são transportados para o local definitivo da planta industrial onde esta é erguida por meio das interconexões destas unidades modulares. A metodologia de construção de uma planta industrial por meio de módulos é adequada onde o local é de difícil acesso, onde há existência de condições climáticas severas, infraestrutura local deficiente e também necessidade de licenciamento ambiental, o que pode ocorrer em beneficiamento de minério, siderurgias, plataformas petrolíferas, plantas químicas, de celulose, sucroalcooleira, entre outras. Esta metodologia de construção traz grandes benefícios, pois implica em redução de custos e de tempo de execução do projeto. Neste contexto, este artigo apresenta uma revisão dos fundamentos da Engenharia de Modularização, mostrando as vantagens, desvantagens, tipos de módulos, transporte, linhas gerais para avaliação da viabilidade de um projeto de modularização e um caso de aplicação desta metodologia de construção.

Palavras-chave: Modularização; Construção modular; Pré-fabricação; Montagem.

FUNDAMENTALS OF MODULARIZATION ENGINEERING

Abstract

Modularization engineering is the mechanical design, logistics and construction of a plant through individual modules that represent parts of the industrial plant. The modules are made offsite with all the high technology in appropriated place with all manufacturing facilities available. After fabrication offsite, the modules are transported to the site in order to be inter-connected with each other. The technology of modular construction of industrial plant is adequate where there are severe onsite conditions, reduced local infrastructure and subject to environmental licensing, which can occur in iron ore mines, oil platforms, and other industrial plants. This methodology of construction is very attractive because implies in shorter project duration and reduction of project costs. In this context this paper presents a review of the fundamentals of Modularization addressing the benefits, modules type, transportation, guidelines for viability of a modularization project and a case study.

Key words: Modularization; Modular construction; Pre-fabrication; Assembly.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

² Engenheiro Mecânico e Professor da Universidade Federal do Pará.

³ Gerente de Engenharia do Departamento de Projetos Norte - DISF - Vale.

⁴ Engenheiro Mecânico do Departamento de Projetos Norte - DISF - Vale

1 INTRODUÇÃO

Modularização é um termo usado em várias áreas do conhecimento, tais como na biologia, ciência da computação, linguagem, matemática e engenharia. Embora os significados variem de alguma forma entre esses diferentes contextos, existem algumas similaridades básicas,⁽¹⁾ tais como:

- a divisão de um grande sistema em partes menores ou componentes;
- o princípio da (relativa) auto-suficiência das partes individuais.

No caso de projetos de fabricação industrial, o termo modularização está relacionado à construção modular de prédios, edificações ou usinas industriais através da montagem, ou melhor, da interconexão de unidades denominadas de módulos. Ressalta-se que neste trabalho apenas são discutidos assuntos relacionados à construção modular industrial, como por exemplo, construção modular de refinarias, usinas de tratamento de minérios, plataformas petrolíferas, siderúrgicas, etc. Na literatura científica podem também ser encontrados vários trabalhos sobre construção modular de prédios residenciais e comerciais.⁽²⁾

Desta forma, Engenharia de Modularização consiste no projeto estrutural, logístico e de montagem de instalações industriais através de módulos individuais que representam partes completas de uma usina. Cada módulo consiste de unidades pré-fabricadas e pré-montadas, tais como estruturas metálicas, tubulações, cabos, instalações elétricas, equipamentos, e/ou outros componentes, formando uma unidade robusta de peso e tamanho consideráveis. As dimensões, pesos e número de módulos são dependentes de vários fatores, mas, principalmente são definidos de acordo com as condições de transporte, como será discutido posteriormente. A Figura 1 mostra exemplos de módulos industriais sendo transportados.



Figura 1. Módulos industriais sendo transportados para o local da usina.⁽³⁾

Os módulos são fabricados em ambientes previamente preparados, fora do local da usina (*offsite*), com todas as facilidades de construção disponíveis. Somente depois de fabricados, os módulos são transportados para o local definitivo onde a planta industrial é erguida por meio das interconexões destas unidades modulares.

A metodologia de construção de uma planta industrial por meio de módulos é adequada onde o local é remoto, infraestrutura local deficiente e sujeito a condições climáticas severas, o que pode ocorrer em usinas de beneficiamento de minério e plataformas petrolíferas, ou mesmo por condições de necessidades de otimização do prazo de implantação, visto que as montagens eletromecânicas podem acontecer em paralelo com as obras de infraestrutura e civis. Na verdade, esta metodologia de

construção foi originalmente desenvolvida na indústria do petróleo em plataformas marítimas (*offshore*) para permitir que grande quantidade de trabalho de fabricação pudesse ser executada em terra (*onshore*).⁽⁴⁾ O desenvolvimento desta metodologia para projetos de plantas industriais em terra é devido ao avanço na tecnologia e aumento de capacidade de carga dos transportadores de módulos (SPMT) e também dos equipamentos de elevação de cargas.⁽²⁾

Esta metodologia de construção traz grandes benefícios, pois implica em redução de custos e de tempo de execução da obra. Também traz como vantagens o aumento da produtividade, a redução do congestionamento de trabalhadores na planta, além do aumento da segurança e da qualidade do trabalho.

Diante deste contexto, este trabalho apresenta uma revisão dos fundamentos da Engenharia de Modularização, mostrando vantagens e desvantagens da metodologia, tipos de módulos, transporte, linhas gerais de uma análise de viabilidade de um projeto de modularização e um caso de aplicação desta metodologia de construção industrial.

2 BENEFÍCIOS DA CONSTRUÇÃO MODULAR EM RELAÇÃO À CONSTRUÇÃO INDUSTRIAL TRADICIONAL

O principal atrativo para contratantes de projetos de construção industrial investir na metodologia de modularização é a redução do custo total do projeto. Isto é basicamente o que procura qualquer cliente para a execução do projeto de sua planta industrial, juntamente com a redução de riscos de acidentes pessoais/impeçoais, redução de impactos ambientais e aumento na qualidade.

A metodologia tradicional de construção industrial (*stick built* ou fabricação *onsite*) envolve as etapas usuais de uma construção: preparação de terreno, trabalho de fundação, instalação de equipamentos etc. Sendo que cada etapa é cumprida sequencialmente. Portanto, qualquer atraso em uma das etapas pode comprometer bastante o cronograma de tempo e de orçamento do projeto. Tais tipos de projetos frequentemente vêm sendo criticados por baixa produtividade, baixa qualidade, baixo desempenho em segurança do trabalho, tempo de execução longo e grande quantidade de desperdício de materiais.⁽⁵⁾ Assim sendo, com a metodologia de modularização, o trabalho de fabricação é realizado foral do local da planta industrial em condições ambientais e operacionais bem mais controladas, fazendo com que os problemas citados sejam minimizados.

Em geral, o custo de fabricação de módulos *offsite* e de implantação no local da planta é maior que se as unidades fossem diretamente construídas no local da planta (*site*) porque requerem maior quantidade de aço estrutural (como, por exemplo, para o reforço dos módulos para o transporte) e também devido aos custos de transporte dos módulos ao *site* (uso de equipamentos especiais de elevação e transporte, preparação de rodovias, despesas de transporte marítimo etc.).⁽⁶⁾

Contudo, outros fatores fazem com que o custo global do projeto modularizado seja menor que o projeto tradicional. Estes fatores e os benefícios decorrentes da modularização são:

- ao mesmo tempo em que é feita a terraplenagem e trabalhos de fundação no local de instalação industrial, os módulos estão sendo feitos com que haja uma grande redução no tempo de execução da obra;
- a redução no tempo de montagem dos módulos é grande devido a simultaneidade ou trabalhos paralelos. Esta simultaneidade de execução de serviços seria inviável na construção convencional tradicional pela sua natureza seqüencial, ou seja, necessidade de um serviço iniciar somente ao término de outra atividade;
- o tempo de fabricação dos módulos pode ser reduzido com alta produtividade devido à fabricação ser realizada em ambientes controlados, com facilidades de material, suprimentos, equipamentos, automação e mão de obra qualificada. Isto é particularmente importante no caso do local da usina esteja situado em regiões remotas. Na fabricação *onsite*, em tais regiões, é muito maior a probabilidade de escassez de recursos humanos qualificados e de material para a fabricação;
- na fabricação dos módulos pode ser minimizada a interferência de condições ambientais severas (chuva, neve, vento etc.) que poderiam atrasar e execução do projeto caso fossem fabricados *onsite* e assim acarretar em mais custos;
- na fabricação *offsite* as condições de segurança dos trabalhadores podem ser muito melhores devido aos serviços estarem sendo executados em situações bem mais controladas. Também, nesta metodologia, o número de trabalhadores no local da planta torna-se bem mais reduzido, evitando o congestionamento de trabalhadores levando ao aumento na produtividade e na segurança;
- a qualidade dos serviços também é aumentada, pois na fabricação *onsite* determinados serviços poderiam estar prejudicados por dificuldades relacionados à ergonomia, como por exemplo, determinados serviços de soldagem podem ser bem melhor executados na fabricação *offsite*. Os serviços de acabamento, pintura, instalações elétricas também se enquadram aqui; e
- na construção modularizada, evita-se a grande quantidade de material desperdiçado e reduzem-se os impactos ambientais no local da obra, tais como ruído, poeira, consumo de energia e água.

Existem outros fatores que tendem a definir a modularização como uma solução apropriada para determinados projetos de construção, tais como, um maior controle no gerenciamento do projeto. Por outro lado, para se chegar a este nível de controle gerencial, há a necessidade de um intenso estudo prévio e planejamento do projeto através de equipes qualificadas levando-se em conta todos os direcionadores (*drivers*) e restrições do projeto. Ao iniciar a fabricação *offsite* todo o planejamento deve estar finalizado. Decisões modificadoras feitas durante as fases de execução do projeto podem resultar em considerável retrabalho e potencial atraso no cronograma.

Por outro lado, há as opções de projetos híbridos, em que parte da planta industrial é construída por modularização e parte feita pela metodologia tradicional. Cada projeto é único e deve ser analisado de acordo com suas características.

3 MÓDULOS: QUANTIDADE, TIPOS E TRANSPORTE

São vários fatores que afetam o projeto de uma unidade modular. Dentre eles destacam-se: processos de engenharia e seleção de equipamentos, layout dos equipamentos, tamanho e número de módulos, logística de transporte e montagem. Na construção modular os projetos de engenharia devem ser realizados com a metodologia da modularização em mente. No projeto de unidades modulares é requerido um pleno conhecimento dos equipamentos disponíveis para os processos a que são destinados os módulos, pois deverão (os equipamentos) ser montados para serem adequadamente ajustados nas unidades modulares. Por exemplo: escolha do uso de equipamentos em série ou paralelo, e respectivos tamanhos; instalação de linhas de bombeamento na vertical ou horizontal; etc.

A fase de definição do número e tamanho de módulos é crucial para o sucesso do projeto. Em geral, pequenos módulos são fáceis de serem transportados, mas o tempo de interconexão deles no local da planta é aumentado. Quando o número de módulos aumenta, maior quantidade de aço estrutural é requerida, mais fundações são necessárias para suportar as unidades, e maior trabalho de instalação e conexões intermodular são exigidas. Por outro lado, grandes módulos requerem uma maior exigência em relação ao uso de transportadores e equipamento de elevação, além das restrições de estradas para o transporte terrestre dos módulos e também restrições de transporte marítimo, quando for o caso.⁽²⁾ Portanto, como cada projeto é único, deve-se analisar os custos e benefícios para se definir o tamanho, carga e número de módulos. Haverá sempre um número ótimo que acarretará em um menor custo ao projeto (Figura 2).

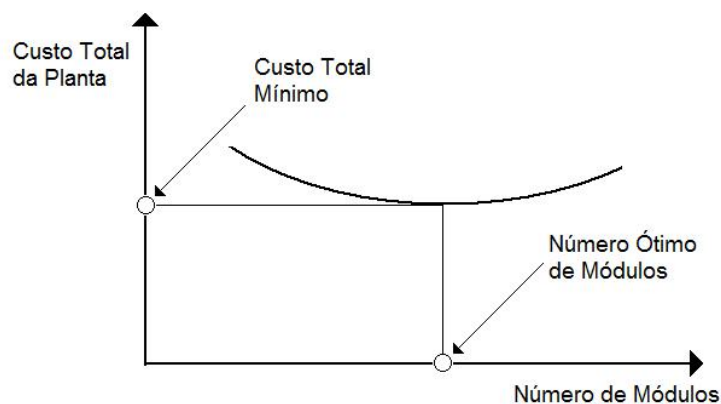


Figura 2. Gráfico custo total do projeto da planta versus número de módulos.⁽²⁾

Há uma série de fatores para avaliar o número ótimo de módulos, ou seja, o grau de modularização.⁽²⁾ Tais fatores compreendem: custo de homem/hora; custo de transporte terrestre, marítimo e de elevação; custo e limitações de tamanho do módulo, quantidade adicional de aço estrutural requerida, preparação das fundações e do local da planta, e possíveis mudanças no escopo do projeto de engenharia.

Os módulos podem também ser classificados. Meyer⁽⁷⁾ apresenta uma classificação de tipos de módulos usada por empresas gerenciadoras do projeto de modularização: (i) Unidades Pré-Montadas (*pre-assembled units*); (ii) *Racks* Pré-Montados (*pre-assembled racks*); (iii) Unidades Fabricadas pelo Vendedor (*vendor assembled units*); e (iv) Prédios de Instrumentação Remotos (*remote instrument buildings*).

As Unidades Pré-Montadas (UPM) são módulos multidisciplinares que incluem equipamentos industriais de processo, estruturas metálicas, tubulações, instalações elétricas, instrumentação, sistemas de proteção contra incêndio e isolamentos térmicos e acústicos, etc. Exemplos destes módulos são os módulos apresentados na Figura 1.

Os *Racks* Pré-Montados (Figura 3) são similares às UPMs, mas não contém equipamentos industriais de processos. Portanto contém estruturas metálicas, tubulações, isolamento, cabos elétricos e sistemas de proteção contra incêndio.



Figura 3. Exemplos de unidades pré-montadas e instalação no local da planta. ⁽⁸⁾

Unidades Fabricadas pelo Vendedor (Figura 4) correspondem a unidades composta por um grande equipamento e suas estruturas auxiliares, que por si só, devido ao grande porte, constituem um módulo. Estas unidades já são fornecidas completas pelo fabricante. Exemplos destes módulos são tanques e silos de grande porte.

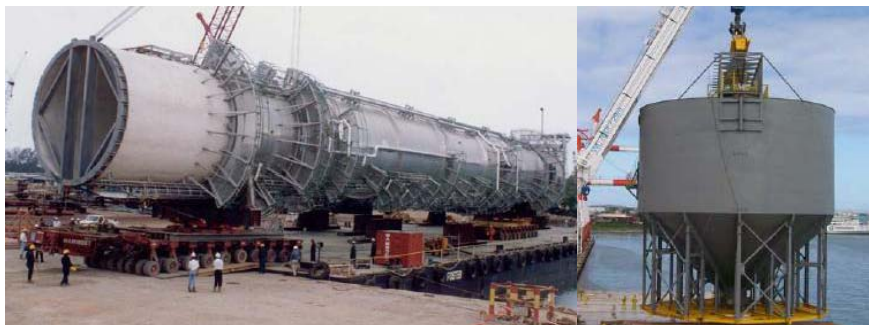


Figura 4. Exemplos de módulos do tipo unidades montadas pelo vendedor. ⁽⁷⁾

Os módulos do tipo Prédios de Instrumentação Remotos (Figura 5) consistem de prédios onde se concentram o centro de controle de instrumentos ou prédios de subestações etc.



Figura 5. Exemplos de módulos do tipo prédios remotos. ⁽⁷⁾

No projeto dos módulos também se deve atentar para a capacidade de transporte disponível. Os meios de transporte adequados aos módulos são o terrestre e

marítimo, realizados por transportadores modulares (SPMT - *self propelled module transporters*) e balsas/navios, respectivamente. As operações de elevação e montagem dos módulos, no local da planta, são realizadas por equipamentos especializados de elevação e de movimentação de grandes cargas.

O desenvolvimento da indústria de transportadores de módulos está diretamente ligado ao desenvolvimento de projetos de modularização em terra (*onshore*); isto tendo ocorrido em meados dos anos 1980. Esses transportadores conhecidos por SPMT ou RTV (*Rubber Tire Vehicles*) possuem uma unidade (PPU – *Power Pack Unit*) (Figura 6) onde se localiza o motor e uma unidade hidráulica separadamente dos transportadores propriamente ditos. Uma série de conectores hidráulicos faz a conexão entre a PPU e os SPMT. As suspensões dos SPMT também são hidráulicas e conectadas à PPU, o que permite que as suspensões possam ser erguidas e abaixadas, mas, fazendo com que a superfície de contato com o módulo permaneça no mesmo nível. Isto é particularmente importante quando o módulo sobe ou desce uma rampa ou vence um obstáculo.



Figura 6. Transportadores de módulos (SPMT) e a unidade motora (PPU).⁽⁹⁾

O comportamento estrutural e dinâmico dos transportadores deve ser analisado conjuntamente com os módulos que irão ser transportados. O objetivo da análise é controlar as excessivas deflexões dos SPMTs (normalmente definidas pelos fabricantes) e checar as resistências dos módulos e os limites de operabilidade do sistema em condições de equilíbrio.⁽¹⁰⁾

A definição do número de transportadores SPMT que serão conectados, seus comprimentos, tipos, serão determinados pelo grupo de engenharia e logística, baseada nos fatores como peso, rigidez e comprimento dos módulos, assim como resistência do pavimento, característica de vento e máxima pressão nos pneus de borracha. Uma premissa básica de projeto é que a localização do centro geométrico do conjunto de SPMT coincida com a localização do centro de gravidade do módulo sendo transportado tanto nas direções longitudinal e transversal (mas, em cotas de altura diferentes, obviamente) (Figura 7).

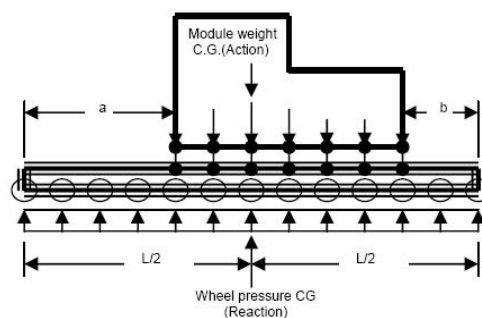


Figura 7. Equilíbrio no sistema Módulo e Transportador SPMT.⁽¹⁰⁾

Similarmente, a metodologia de equilíbrio no transporte marítimo por balsas ou navios deve ser realizada. Deve haver um cuidado com os cálculos das distribuições de cargas (Figura 8) para que os módulos sejam transportados de maneira segura. Além dos transportes terrestres e marítimos, deve haver também o projeto de engenharia e logística de elevação dos módulos e montagem no *site*. Existem no mercado diferentes tipos de equipamentos de elevação tais como guindastes, pontes rolantes, elevadores de carga, etc. de diferentes tipos e modelos (Figura 9), logo há a necessidade de verificar quais os mais adequados para cada situação. A sequência de montagem deve ser previamente elaborada pela logística e de preferência com simulação computacional.

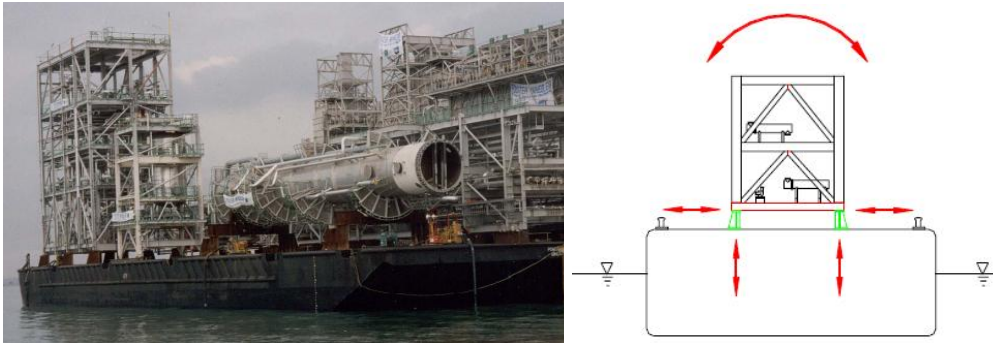


Figura 8. Transporte marítimo de módulos e cargas a serem avaliadas para o transporte. (7)



Figura 9. Exemplos de elevação de módulos. (3,8)

Outra matéria de análise refere-se aos reforços estruturais que os módulos possam vir a ter. Pode haver casos em que seja necessário reforçar estruturalmente os módulos com tirantes, contraventamentos, etc. de forma que os mesmos sejam transportados adequadamente. Portanto, deve-se fazer a análise estrutural da permanência de tais reforços nos módulos durante a operação da planta, pois este enrijecimento pode acarretar em concentrações de tensões extras e assim comprometer a integridade estrutural de componentes dos módulos.

4 ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UM PROJETO DE CONSTRUÇÃO MODULAR

Nem todo projeto de construção modular é viável. Pode haver situações em que as barreiras sejam tantas, de maneira que a construção tradicional ou uma opção híbrida seja a melhor escolha. Existem muitas considerações envolvidas. A Tabela 1 lista alguns fatores que devem ser avaliados para a decisão sobre modularização. As empresas executoras dos projetos de modularização possuem seus programas internos de avaliação da viabilidade dos projetos. Contudo, o Instituto CII (*Construction Industry Institute*), nos Estados Unidos, disponibiliza um *software* de

análise de viabilidade de um projeto modular de construção industrial. Esse *software* denominado Modex⁽¹¹⁾ é um sistema especialista que possui três fases principais de análise, as quais são denominadas de *strategical level I*, *strategical level II* e *tactical analysis*.

Tabela 1. Fatores que influenciam na análise da viabilidade de uma planta modular⁽²⁾

Gerência	Conhecimento do contratante e aceitação de conceitos modulares Complexidade de gerenciar múltiplas equipes de trabalho
Engenharia	Habilidade de organizar e projetar sistemas e módulos Aumento no escopo das atividades de engenharia
Materiais	Aumento da abrangência de atividades de aquisição Fornecimento, fabricação e montagem de maior quantidade de aço estrutural
Mão de Obra	Disponibilidade de mão de obra no <i>site</i> e no pátio de fabricação Diferentes níveis de mão de obra no <i>site</i> e no pátio de fabricação
Pátio de Fabricação	Localização do pátio de fabricação Capacidade de infra-estrutura local para dar suporte às atividades
Transporte	Requerimentos de transporte, métodos e custo Análise da rota
Local da Planta	Acessibilidade e condições físicas do <i>site</i> e da rota de transporte Condições climáticas no <i>site</i> e na rota de transporte

As duas primeiras fases são designadas para fornecer uma visão geral sobre a viabilidade do uso da modularização baseada nos direcionadores e barreiras do projeto. Na terceira fase, faz-se a análise econômica e adequação de cronograma. A Figura 10 apresenta um fluxograma apresentando as três fases principais (em amarelo) e as etapas necessárias para executá-las, agrupadas num total de sete atividades.

A primeira fase (*strategic level I*) consiste numa prévia análise se a modularização pode ou não ser aplicada. Isto é feito através de simples questões sobre: (i) cronograma do projeto; (ii) mão de obra; (iii) segurança; (iv) legislação local; (v) atributos do *site* (falta de infra-estrutura e condições climáticas); e (vi) acesso ao *site*. Através das respostas a estas questões pode-se decidir pela não realização da modularização (e então se opta pela construção tradicional) ou pela possível realização da modularização. Neste último caso passa-se à segunda fase de análise de viabilidade.

Na segunda fase, já são conhecidos os principais impedimentos e direcionadores da modularização. Nesta nova fase (*strategical level II*) objetiva-se avaliar com mais detalhes os fatores identificados na primeira fase e determinar a factibilidade da modularização ou de soluções híbridas. Nesta nova análise, são dez categorias analisadas com maior profundidade: Cronograma, Custo, Mão de obra, Segurança, Atributos do *site*; Sistemas mecânicos, Tipos de projeto e contrato, Projeto, Requerimentos de transporte e elevação, e Fornecedores.

Nesta segunda fase é requerido um maior conhecimento do projeto, que pode incluir desenhos, lista de equipamentos, fluxograma de processos, assim como maiores detalhes a respeito das características do local da planta, infra-estrutura existente, mão de obra especializada e questões legais. Para cada uma destas dez categorias são atribuídos pesos e então o sistema especialista estima a factibilidade da execução da modularização e o nível de confiança desta decisão.

Caso o resultado da segunda fase aponte ainda para a modularização, passa-se à terceira fase (*tactical analysis*), que realiza uma análise econômica em termos de redução ou aumento de custo e disponibilidade de redução do cronograma de

construção ao adotar a modularização. Para a realização desta análise é feito um procedimento heurístico contendo regras de decisão sobre modularização combinado com arquivos de dados de projetos passados de construção modular. Assim, finalmente é apresentado o resultado sobre a viabilidade da modularização (ou uma solução híbrida). Estas três fases estão inseridas no fluxograma de decisão apresentado na Figura 10.

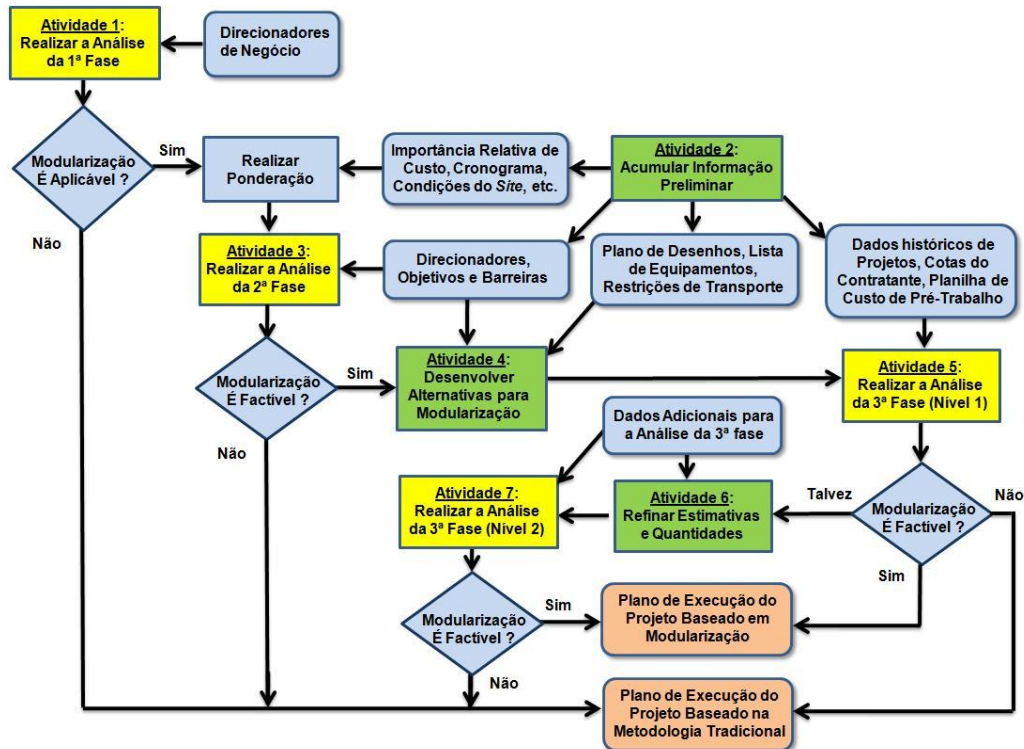


Figura 10. Fluxograma para a tomada de decisão de metodologia de construção industrial.⁽¹¹⁾

5 CASO DE APLICAÇÃO DA MODULARIZAÇÃO: PROJETO KONIAMBO

O Projeto Koniambo corresponde à construção de um complexo industrial para a mineração a céu aberto de ferro-níquel na ilha de Nova Caledônia, um território Francês localizado na Oceania, a leste da Austrália e a noroeste da Nova Zelândia (Figura 11).

As instalações de Koniambo incluem a mina de ferro-níquel a céu aberto, uma planta pirometalúrgica para o processamento do minério e uma usina termelétrica para gerar 340 MW (Figura 12). A mina é situada em uma região com 930 m acima do nível do mar e distante 15 km do porto.

Para a decisão da construção modular desta planta pesaram os seguintes fatores: escassez de recursos de mão de obra especializada local associada com leis locais de imigração, curto período de execução do projeto a ser realizado em uma região remota e prédios metálicos complexo, com alguns medindo mais de 100m de altura (Figura 13a). Desta forma, optou-se pela modularização usando pátios de fabricação localizados em cidades da China (Figura 13b).

Os módulos foram então transportados por mar e depois por terra até o local da planta onde foram conectados para formar o complexo industrial (Figura 14). Para viabilizar este transporte marítimo foi realizada uma dragagem com uma extensão de 5 km. Este projeto de 3,8 bilhões de dólares permitirá que a planta industrial

produza 60.000 toneladas de ferro-níquel por ano, sendo que o início da produção é esperado para meados de 2012.⁽⁸⁾

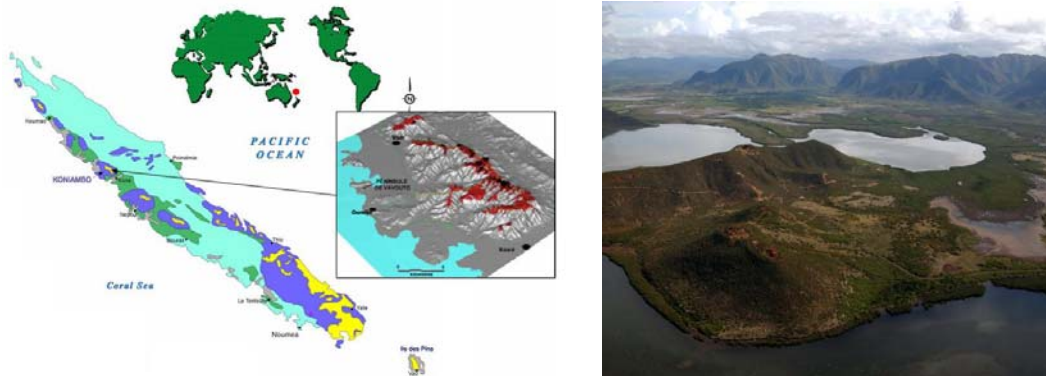


Figura 11. Localização da região de Koniambo na Nova Caledônia.⁽⁸⁾

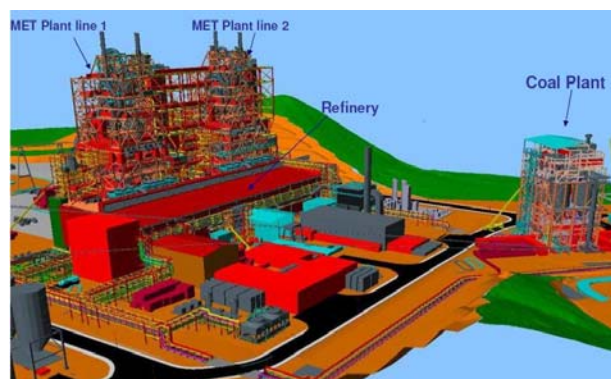


Figura 12. Ilustração da Planta Industrial de Koniambo.⁽⁸⁾



Figura 13. Ilustração de prédios modularizados e localização de parques de construção na China.⁽⁸⁾



Figura 14. Transporte e montagem de módulos.⁽⁸⁾

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modularização é ainda considerada uma metodologia alternativa à metodologia convencional de construção de plantas industriais. Contudo, vários fatores podem indicar a metodologia tradicional não ser atraente, direcionando ao uso desta metodologia alternativa, como por exemplo: (i) planta ser situada em localidades remotas e sujeitas a condições climáticas adversas; (ii) falta de infraestrutura existente no local ou mão de obra qualificada insuficiente; e (iii) elevado número de trabalhadores no local da planta, diminuindo assim a produtividade e a segurança. Desta forma, respondendo a estes problemas, a modularização ainda traz como benefícios o aumento da qualidade, produtividade, e principalmente, redução do custo total do projeto de construção industrial. Contudo, nem todo projeto de modularização é factível com boas respostas. Uma vez que o método da construção modular é proposto, deve-se avaliar cuidadosamente a sua viabilidade. Desta forma este trabalho apresenta as características gerais da modularização, enfatizando seus benefícios, avaliação da viabilidade e apresentação de um caso de planta industrial modularizada.

Agradecimentos

Os autores agradecem a VALE S.A. pelo suporte financeiro do programa no qual este trabalho de pesquisa está inserido.

REFERÊNCIAS

- 1 ERIKSTAD, S.O. Modularisation in shipbuilding and modular production. In: INNOVATION IN GLOBAL MARITIME PRODUCTION, Trondheim, December, 2009.
- 2 TATUM, C. B.; VANEGAS, J. A.; WILLIAMS, J. M. Constructability improvement using prefabrication, preassembly, and modularization. Construction Industry Institute, 1987.
- 3 MLADY, J. Advancements in modular techniques over the past decades. In: MODULAR CONSTRUCTION & PREFABRICATION, Brisbane, Australia, 2010.
- 4 BROOKFIELD, R.; COOKE, J. Modularisation: a pioneering approach. In: PETROLEUM ECONOMIST, LNG REVIEW - DESIGN AND TECHNOLOGY, 2011
- 5 CHEN, Y.; OKUDAN, G.; RILEY, D. Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings. Automation in Construction, v.19, 2010.
- 6 HABIBULLAH, A.; LARDI, P.; PASSMORE, M. LNG Conceptual design strategies. In: 88th GPA ANNUAL CONVENTION, San Antonio, TX, March, 2009.
- 7 MEYER, W., Modularization. Foster Wheeler USA Corporation, 2007.
- 8 BEAUDOIN, J. Case study: Koniambo nickel project - some unique outcomes in modularization and preassemblies. In: MODULAR CONSTRUCTION & PREFABRICATION, Brisbane, Australia, 2010.
- 9 CRANES TODAY. Modular transporters for modular construction, 2007. Disponível em <<http://www.cranestodaymagazine.com>> Acesso em 13 fev. 2011.
- 10 JANI, R.; THAKAR, M. Conceptualization, simulation and structural analysis of modules during land transportation by self propelled modular transportation (SPMT), 2009, Disponível em <<http://civildesignhelp.info/rahuljani.pdf>> Acesso em 25 mar. 2011.
- 11 THE CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (CII). Implementing the prefabrication preassembly, modularization, and offsite fabrication decision framework: guide and tool. CII PPMOF Project Team Implementation Resource (IR 171-2), September, 2002.