

MODELAGEM SISTÊMICA DE PROJETOS DE AEC EM UML

Rita Cristina FERREIRA

Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - área de Concentração de Suporte ao Projeto - rita@dwg.arq.br

Eduardo Toledo SANTOS

Professor da Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
eduardo.toledo@poli.usp.br

Rodrigo Franco GONÇALVES

Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
rofranco@osite.com.br

Marcelo Schneck de Paula PESSOA

Professor da Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
mpessoa@terra.com.br

RESUMO

O uso intensivo de Sistemas de Informação é uma possível solução para a integração das atividades de projeto na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), permitindo que decisões sejam tomadas ainda na fase de projeto e, conseqüentemente, evitando-se retrabalhos em obra. Neste sentido, esforços têm sido realizados para padronizar conceitos e terminologias de AEC, como a norma ISO 12006-2 e o padrão IFC, permitindo a troca e armazenagem de informações. Ambos são baseados na linguagem EXPRESS assim como o padrão industrial STEP. Entretanto, as representações de informação usadas na indústria de produtos não são as mais adequadas para a Engenharia de Software, onde as representações semânticas envolvem não somente a representação estrutural da informação, mas também a representação comportamental. Este artigo contribui com uma visão de implementação em UML da informação de um projeto de AEC e tornam explícitas, sob a ótica do desenvolvimento de software, as relações semânticas existentes. Os resultados desta pesquisa foram obtidos através da realização de um estudo de caso de projeto de produção em CAD 3D dos subsistemas alvenaria e revestimento para um edifício residencial. A partir das observações do estudo de caso foi feita a modelagem em UML dos objetos pertinentes. O principal resultado obtido foi a representação explícita das interfaces entre objetos AEC.

Palavras-chave: Modelagem sistêmica, UML, objetos AEC, Orientação a Objetos.

ABSTRACT

The intensive use of Information Systems is a candidate solution to the integration of design activities in Architectural, Engineering and Construction (AEC) industry, enabling early decision making still in the design phase which can avoid rework at the construction site. In that sense, efforts are being made to standardize AEC concepts and terminologies, fostering integrated storage and exchange of information, like the ISO 12006-2 and IFC standards do. They are both based on the EXPRESS language, as is the industrial standard STEP. However, the information representations used in the product industry are not the most adequate for the software industry whose semantic representations imply not only the structural facet of the information, but also their behavioral one. This article offers a UML implementation of the information of an AEC design, making explicit the semantic relations involved, from a software development perspective. A case study regarding a detailed design in 3D of the masonry and covering subsystems of a residential building was conducted. All pertinent objects have been modeled from the observations of this case study. The main result obtained was an explicit representation of the interfaces among the AEC objects.

Keywords: Systemic modeling, UML, AEC objects, Object Orientation

1 INTRODUÇÃO

A indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) enfrenta problemas típicos do baixo desenvolvimento tecnológico no processo de projeto, que geralmente não é voltado à produção. Isto se deve principalmente à dificuldade de integrar, de forma produtiva e a baixo custo operacional, as atividades relacionadas às diferentes disciplinas de projeto. Outro fator é a preparação apenas de projetos conceituais, nos quais não são desenvolvidas ou explicitadas informações essenciais para o planejamento e racionalização da produção. “Tipicamente as informações de projeto fluem da fase de projeto do produto para a fase de construção [...], com custos elevados e retrabalho durante a construção” (HALFAWY; FROESE, 2005, p.172). Esse atalho da concepção à produção é incomum em outros setores industriais como o automobilístico e o aeronáutico, por exemplo. Estes setores da indústria investem grandes esforços e recursos no projeto para a produção, na tentativa de obter um processo de fabricação eficiente e com o menor número de falhas possível (RUTKAUSKAS; SANTOS, 2006).

O uso intensivo de Sistemas de Informação (SI) aparece como uma solução para a integração das atividades de projeto, permitindo que decisões sejam tomadas ainda nesta fase e, conseqüentemente, reduzindo custos e o índice de retrabalho. Busca-se através destas soluções a integração entre plataformas CAD e sistemas de gestão de projetos, custos, materiais e repositórios de documentos e informações, entre outros.

Outra vertente, no mesmo sentido de dar soluções da produção ainda na fase de projeto, é o conceito BIM (Building Information Modeling), que preconiza a criação de um modelo único do edifício, onde as informações, geométricas ou não, de todas as disciplinas são integradas num modelo digital, estruturado e consistente (GSA, 2006). Assim, esforços como o padrão IFC e a norma ISO 12006-2 têm sido realizados para padronizar conceitos e terminologias de AEC, permitindo a armazenagem e a troca de informações entre as diferentes disciplinas de projeto. Tanto o padrão IFC quanto a norma ISO12006-2 apóiam-se na linguagem EXPRESS para a representação da informação, do mesmo modo que o padrão da ISO para a indústria de produtos, o STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDIZATION, 2002)

Embora existam pontos em comum, as representações de informação usadas na indústria de produtos – principalmente representações estruturais – não são plenamente adequadas para o desenvolvimento de sistemas de informações da forma como é visto pela Engenharia de Software (Arnold; Podehl, 1998). Neste âmbito, as representações da informação envolvem relações semânticas que vão além da representação estrutural, considerando também a representação dos comportamentos interno e externo das classes.

2 OBJETIVOS E MÉTODO DE PESQUISA

Este artigo aborda as seguintes questões: Quais são as relações semânticas da informação em projetos AEC? Como representá-las, tendo em vista o desenvolvimento de SI, para que facilitem a integração das diferentes disciplinas de projeto?

Este artigo contribui com uma visão de implementação em UML (Unified Modeling Language) (BOOCH; RUMBAUGH; JACOBSON, 2000) da informação de um

projeto AEC, tornando explícitas, sob a ótica do desenvolvimento de software, as relações complexas existentes. Utilizou-se para esta implementação o conceito de objetos AEC, com o objetivo de identificar não apenas uma classificação, mas também o comportamento intrínseco e interativo dos objetos. Dado o grande número de subsistemas existentes em AEC, somente dois foram considerados neste estudo de caso: a alvenaria e o revestimento. Entretanto, espera-se que seja possível ao leitor a generalização dos conceitos depreendidos a partir da análise aplicada a estes dois subsistemas.

O método de pesquisa utilizado envolveu um estudo de caso através de observações sobre o desenvolvimento, em CAD 3D, de um projeto para a produção dos subsistemas de alvenaria e revestimento de um edifício residencial. Conforme Voss, Tsiriktsis e Frohlich (2002), utilizou-se o estudo de caso a fim de identificar e descrever as variáveis-chave envolvidas em uma situação, bem como identificar as relações entre elas, visando a construção teórica. Segundo Yin (2003), o estudo de caso é também indicado para explorar em profundidade uma situação e responder a questões do tipo "Como?".

A coleta de dados foi feita a partir do acompanhamento do projeto, usando a UML como forma de representação abstrata das variáveis-chave identificadas. É importante considerar que toda modelagem representa um recorte na realidade e é, portanto, sujeita a limitações, dando margem a exceções. Foram utilizadas como fontes de evidência (YIN, 2003, p. 108) a observação participante, uma vez que os pesquisadores estavam envolvidos na implementação de um sistema de informação para apoio à gestão de projetos, e entrevistas com outros projetistas com o intuito de validar as observações e balancear o ponto fraco da observação participante, que pode produzir uma visão tendenciosa.

O acompanhamento do projeto objeto deste estudo de caso foi organizado da seguinte forma: inicialmente foi feita uma discussão sobre as formas de representação da informação, destacando-se a semântica da orientação a objeto em relação à representação convencional e, em particular, os aspectos da representação com UML. Em seguida, foram estudados os padrões de representação da informação em AEC, enfocando a norma ISO 12006-2 e o conceito de Objetos AEC. Por fim, foi utilizada a representação UML para a análise da ISO 12006-2 e de objetos AEC.

3 A REPRESENTAÇÃO DA INFORMAÇÃO

3.1 Modelagem Orientada a Objetos

Uma análise aprofundada dos conceitos de orientação a objeto está fora do escopo deste trabalho. Neste trabalho, foram abordados somente os conceitos pertinentes à diferença da representação da informação na abordagem tradicional – também chamada abordagem estruturada ou procedimental – e a abordagem orientada a objeto (AOO). Assim, os conceitos de classes, atributos, métodos, herança, encapsulamento e polimorfismo não são discutidos, cujos significados podem ser encontrados na literatura da Engenharia de Software, sendo considerados assuntos já consolidados (PRESSMAN, 2006).

A abordagem estruturada de desenvolvimento de software baseia-se em estruturas de dados e procedimentos (funcionalidades), ou seja, há uma dicotomia entre os

aspectos estáticos (dados) e dinâmicos (procedimentos) da informação representada. Embora em ambas as abordagens haja uma hierarquia de elementos, a AOO reúne os aspectos estáticos e dinâmicos em uma mesma visão. Os objetos contêm atributos, que refletem o estado interno do objeto, e executam operações que espelham seu comportamento em relação a outros objetos (RUMBAUGH et al., 1994). A Figura 1 representa esquematicamente a diferença entre a abordagem procedimental e a orientada a objetos do ponto de vista da hierarquia de dados e procedimentos.

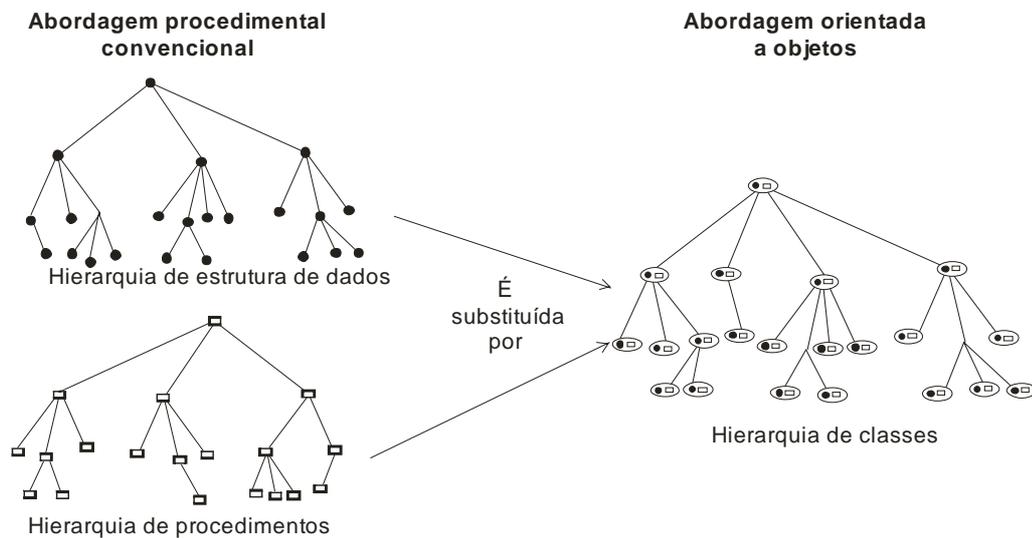


Figura 1 - A abordagem orientada a objeto tem hierarquia unificada.
Adaptada de Rumbaugh et al. (1994).

No contexto deste trabalho, é particularmente relevante o conceito de classes e objetos da AOO. Uma classe é uma definição de uma categoria de objetos, mais genérica ou mais especializada em função da posição que ocupe numa hierarquia de classes onde classes-filhas herdam todas as características das classes-mães ao mesmo tempo em que especificam particularidades que as distinguem daquelas.

Um objeto é uma instância (ou um exemplar) de uma classe (RUMBAUGH et al., 1994). Possui uma identidade e é distinguível de outros objetos da mesma classe. As classes de objetos, por outro lado, abstraem as características em comum de um grupo de objetos, ou seja, as propriedades (atributos), comportamentos (operações) e relações com outros objetos que são comuns para todos os objetos deste grupo.

3.2 UML

A UML (Unified Modeling Language) - Linguagem de Modelagem Unificada - foi normatizada pelo OMG (Object Management Group) em 1997, pondo fim à disputa entre os diversos métodos de modelagem e propondo uma linguagem universal de especificação de software e arquitetura de sistemas. Foi rapidamente aceita como padrão pela indústria de software e tem conquistado uso extensivo em outras áreas especializadas, a exemplo da modelagem de processos de negócio (BJÖRKANDER; KOBRYN, 2003).

A UML oferece uma notação gráfica para expressar o relacionamento semântico entre classes, permitindo identificar relações supertipo-subtipo (chamadas generalizações-especializações); associações simples; relações todo-parte (com os

conceitos de agregação e composição) bem como relações de dependência (BOOCH; RUMBAUGH; JACOBSON, 2000).

Na notação UML, as classes são representadas por retângulos e as relações entre essas classes por linhas. Uma linha com um losango cheio na ponta representa uma relação todo-parte, sendo o losango colocado junto ao elemento que contém os demais. Notação semelhante (porém com o losango vazio) é utilizada para expressar uma relação de agregação.

Segundo Björkander e Kobryn (2003), a versão 2.0 da UML introduziu explicitamente os conceitos de “interfaces requeridas” e “interfaces oferecidas” entre classes (anteriormente, o conceito de interface na UML se referia somente a interfaces oferecidas). As interfaces requeridas asseguram as informações que a classe necessita para funcionar. As interfaces oferecidas disponibilizam os serviços que a classe proporciona, ou seja, que realizam o propósito de existência da classe. Este conceito favorece a representação para a especificação estrutural na arquitetura de sistemas, uma vez que permite identificar claramente o papel de cada classe no contexto do sistema, ou seja, o que cada classe proporciona às outras e o que cada uma recebe de outras classes.

Segundo Ivers et al. (2004), as interfaces na UML 2.0 constituem uma forma de especialização das operações que cada classe utiliza para interagir com outras classes. As classes passam a ter não só as operações relacionadas a processos internos da classe, mas também as operações especializadas que constituem as interfaces. Em realidade, as interfaces são também classes, com seus respectivos atributos e operações, mas que nunca são diretamente instanciadas. Elas apenas representam uma especificação de “interface” que classes concretas podem implementar.

4 PADRÕES PARA AEC

4.1 ISO 12006-2

Segundo Ekholm (2005), a norma ISO 12006-2 (“Organização da Informação sobre Trabalhos de Construção - parte 2: Framework para classificação da informação”) define um arcabouço de classes genéricas de interesse na área da Construção Civil que pode ser usada como ponto de partida para a definição de tabelas detalhadas de classificação, em bases nacionais ou regionais. No contexto deste trabalho, dois conceitos da ISO 12006-2 são particularmente relevantes: Element (Elemento) e Designed Element (Elemento Projetado). Elemento é definido como parte de uma Construction Entity Part (Entidade de Construção) que, em si mesmo ou em combinação com outras partes, cumpre uma função predominante de uma entidade de construção (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1998). Ou seja, um elemento é algo concreto, mas derivado de conceitos abstratos, que desempenha um papel em uma construção e possui limites e propriedades físicas bem definidas. Conforme International Organization for Standardization (1998), são exemplos de elementos: parede externa, piso, equipamento sanitário e outros.

“Elemento projetado” é um elemento para o qual foi definido um resultado de trabalho em obra. Ou seja, o elemento projetado define o que vai ser efetivamente

construído. Por exemplo: “parede externa em alvenaria com revestimento de pastilhas”.

4.2 Objetos AEC

Halfawy e Froese (2005) propõem uma abordagem da informação em AEC para a construção de SI utilizando o conceito de objetos AEC. Os objetos AEC são entidades de projeto tridimensionais que combinam a capacidade de representar vários aspectos da informação de projeto necessária para suportar visões multidisciplinares dos objetos, bem como a capacidade para encapsular aspectos comportamentais, restrições e informações do ciclo de vida do produto. Segundo aqueles autores, um modelo de objetos AEC deve encapsular atributos geométricos e não-geométricos, bem como métodos para tratar as interfaces entre os objetos. Dentre as potencialidades dos objetos AEC, encontra-se a possibilidade de integrar o projeto com o planejamento de atividades (scheduling) e assim facilitar a troca de informações entre atividades de projeto. Esses objetos “inteligentes” também permitiriam que interferências não geométricas entre partes da edificação pudessem ser identificadas ou que elementos estruturais obtivessem informações de outros objetos que impõem cargas a eles, apoiando o processo de cálculo estrutural.

Também é particularmente relevante, no contexto deste trabalho, a colocação de Halfawy e Froese (2005) de que diferentes disciplinas de projeto normalmente possuem diferentes visões de um mesmo objeto, sendo que cada visão define seu próprio conjunto de atributos e métodos.

5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado em uma empresa de projetos para AEC cuja especialidade é a realização de projeto detalhado para produção usando CAD 3D. O desenvolvimento pelo projetista de parte do projeto para produção de alvenaria, revestimento e hidráulica, referentes ao pavimento tipo de um edifício residencial de 30 andares, foi acompanhado por um especialista em UML. O empreendimento em questão é de responsabilidade de uma construtora de grande porte, para a qual estava sendo prestado o serviço de projeto estudado.

O estudo de caso foi realizado em três fases:

- Fase 1: foram realizadas atividades de modelagem em UML da classificação da informação utilizada na empresa, que era refinada e validada com seus representantes após o especialista em UML explicar o significado da notação utilizada.
- Fase 2: foram desenvolvidas as atividades de projeto de componentes da fachada, envolvendo os projetos de alvenaria e de revestimento, cujas observações foram anotadas e novamente validadas com os representantes da empresa.
- Fase 3: por fim, foi realizada a modelagem em UML representando a semântica envolvida no projeto.

Os resultados deste trabalho do estudo de caso são apresentados a seguir:

5.1 Fase 1: Classificação da Informação

Inicialmente, foi identificada a visão de alto nível para a classificação conceitual da informação seguida na empresa. Esta visão permitiu a classificação dos objetos AEC utilizados no projeto. São explicitamente usados na terminologia adotada pela empresa os conceitos de sistema, subsistema, componente e elemento, conforme a Figura 2.

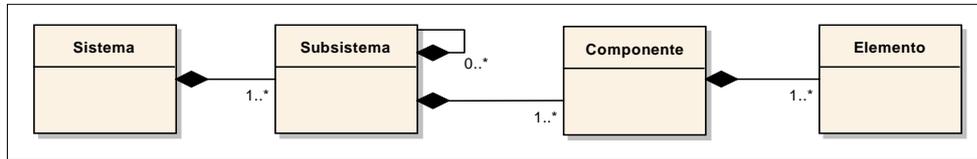


Figura 2 - Classificação conceitual da informação adotada na empresa

Os sistemas formam a visão de mais alto nível e estão, basicamente, relacionados ao projeto do produto. Na empresa estudada, considera-se que um edifício é composto pelos sistemas de utilidades, estabilidade e organização do espaço (veja exemplo na Figura 3).

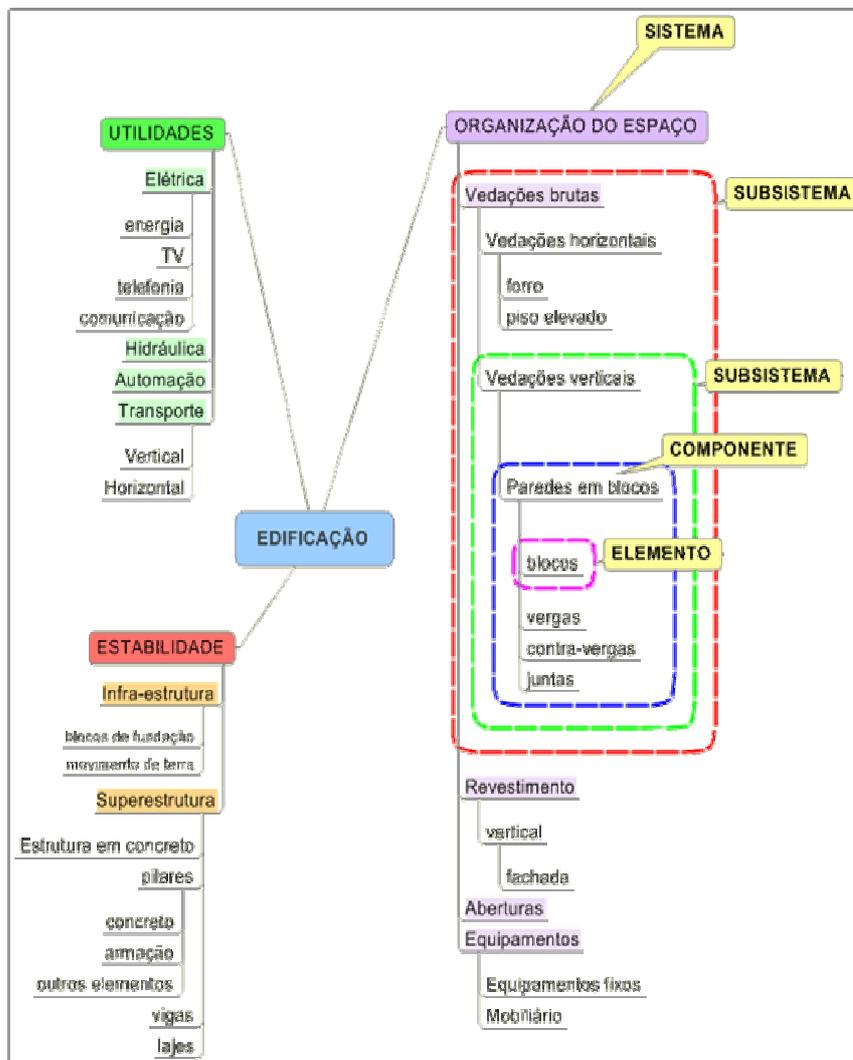


Figura 3- Classificação hierárquica da informação do edifício, com exemplos (FERREIRA, 2007)

Os sistemas são compostos por subsistemas que, por sua vez, podem ser compostos por mais de um subsistema. Exemplos de subsistemas são vedações, fundação, hidráulica, etc. O projeto para a produção realiza o detalhamento dos subsistemas para execução em obra. Os componentes são as divisões dos subsistemas para fins de projeto, ou seja, representam algo a ser projetado. Assim, o objeto genérico representado pelo conjunto de paredes do pavimento tipo pode ser visto como uma parte do subsistema de vedações verticais, que está subordinado ao sistema de organização do espaço. Uma parede específica (objeto ou instância) é entendida como um componente do subsistema de vedações. Os blocos que formam a parede são classificados como elementos. Os elementos são considerados atômicos para o projeto, ou seja, não são projetados e sim utilizados diretamente para o projeto dos componentes, como os blocos e vergas que constituem uma parede. Este tipo de informação está diretamente relacionado aos insumos e materiais necessários para a execução da obra.

Em sua visão de Engenharia de Sistemas, não diretamente aplicada ao contexto de AEC, Laudeur, Bocquet e Auzet (2003) preferiram modelar a classe Sistema em UML como sendo composta por outros Sistemas e sugeriram várias alternativas para caracterizar os diferentes tipos de Sistemas. A proposta apresentada aqui deixa, ao contrário, a recursão para o nível de Subsistema(s). A classe Sistema fica assim diretamente relacionada às disciplinas principais que integram o edifício (Estrutura, Instalações e Arquitetura).

Os objetos AEC derivados do estudo de caso foram classificados conforme mostra o diagrama UML da Figura 4, na qual se dá destaque ao subsistema "parede", tendo em vista que é o foco do presente trabalho. Observa-se que o subsistema vedações pode tanto compor o sistema de organização do espaço como o subsistema superestrutura, conforme a vedação seja somente para divisão ou tenha também função estrutural. As vedações verticais e horizontais são especializações de vedações. Ambas agregam o subsistema aberturas.

Parede e Revestimento compõem tanto Vedações Verticais como Horizontais. Existem diferentes tipos de paredes; no caso estão representadas paredes em drywall e paredes em alvenaria. Paredes em alvenaria são compostas por blocos e material de ligação (juntas de argamassa) que representam os elementos de cada componente de parede.

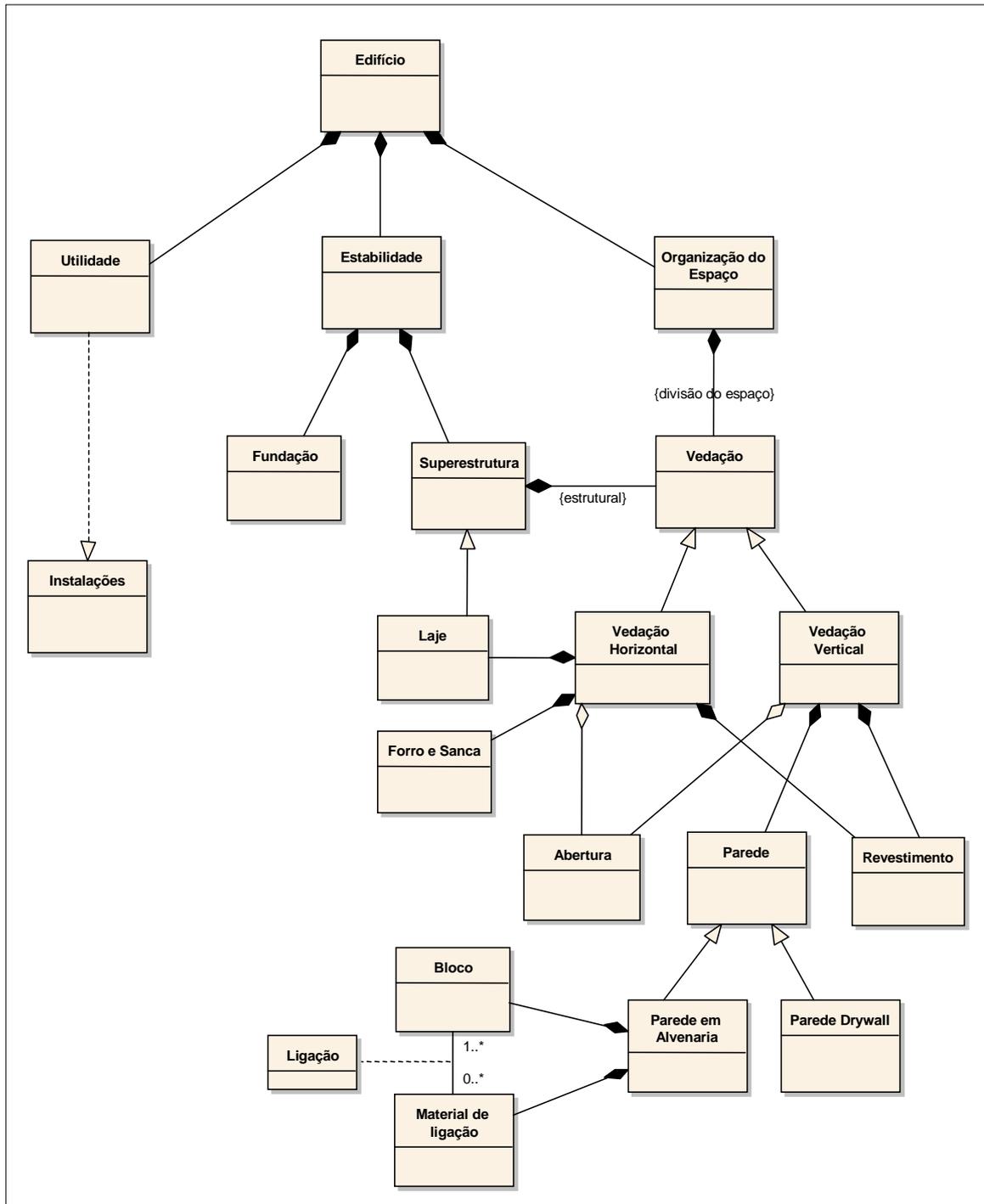


Figura 4 - Classificação dos objetos, enfocando em particular o subsistema "parede" (representação UML).

5.2 Fase 2: Acompanhamento de Projeto para a Produção

O projeto realizado envolveu o seguinte fluxo de trabalho:

1. Tem início o projeto do subsistema "Vedações Verticais";
2. Dentro do subsistema de "Vedações Verticais" são identificados os componentes a serem projetados. No caso estudado, selecionaram-se as paredes externas, devido à interface com revestimento externo;

3. O subsistema de alvenaria é detalhado componente a componente, dentro deste conjunto. Cada componente identificado gera um modelo CAD;
4. É realizado o projeto das paredes, conforme mostra a Figura 5. Durante o projeto, as paredes são classificadas conforme suas características construtivas. Para a definição das características da parede, o projetista utiliza a especificação de técnica construtiva fornecida no projeto do produto, bem como padrões utilizados pela construtora. A definição das características envolve também a definição dos elementos e dos materiais de ligação. Neste caso, as paredes são construídas de blocos de concreto;
5. São identificados os pontos de interface do componente projetado com outros subsistemas. Neste estudo de caso foram selecionadas paredes que tivessem interface com o subsistema de Revestimento. O revestimento da fachada é em filetes de pedra natural (Figura 6), que são aplicadas sobre a alvenaria (Figura 7);
6. Nesse momento da solução do projeto, são instanciados os subsistemas e componentes que fazem interface com a parede. A finalidade é prover as interfaces requeridas. Neste estudo de caso, observou-se a solução dada na interface do revestimento com a parede. O revestimento tem a característica de prover proteção e acabamento à parede;
7. Tomando em particular o projeto do revestimento, o projetista deste subsistema procura descobrir se todas as condições para aplicação do revestimento estão satisfeitas. É identificado que o revestimento em questão necessita não somente de uma superfície de aplicação, mas também de algum elemento de suporte que compense as forças que atuam sobre este e que podem causar fissuras, descolamentos, etc. Assim, torna-se necessário verificar se este suporte pode ser provido por outro subsistema. Então, o projetista do revestimento solicita ao outro projetista - no caso, o de alvenaria - que inclua no seu projeto o elemento de suporte necessário.
8. O projetista de revestimento inclui no projeto da parede o elemento que garante o suporte compatível ao revestimento. A solução dada, no caso, utiliza uma tela de suporte, conforme mostra a Figura 8.

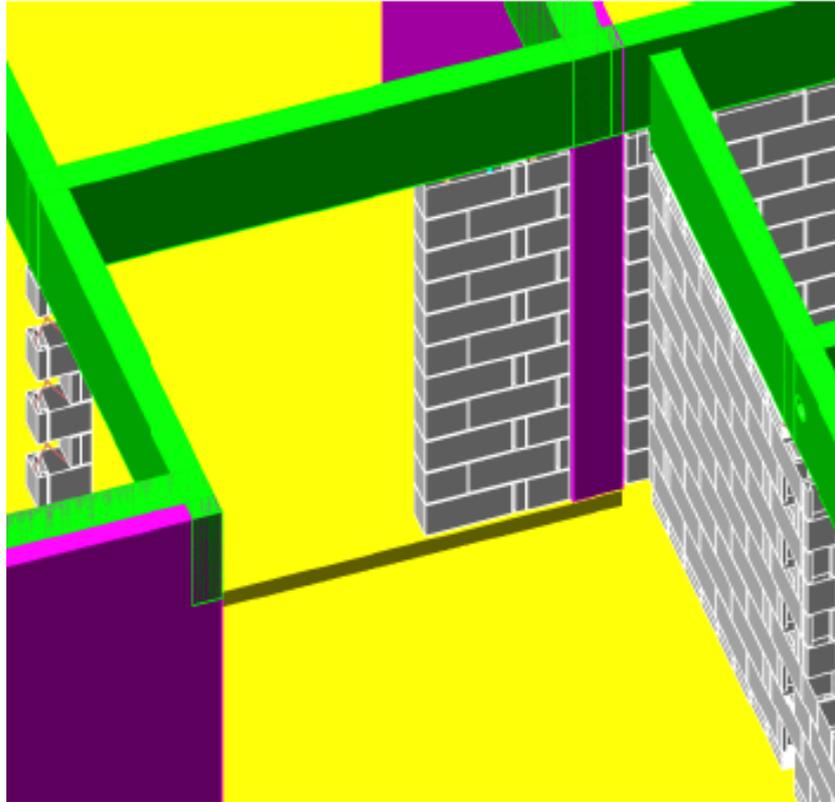


Figura 5 – Vista geral das “paredes externas” (em cinza) e da estrutura (pilar em magenta e vigas em verde)



Figura 6 – Fotografia do revestimento em filetes de pedra natural .

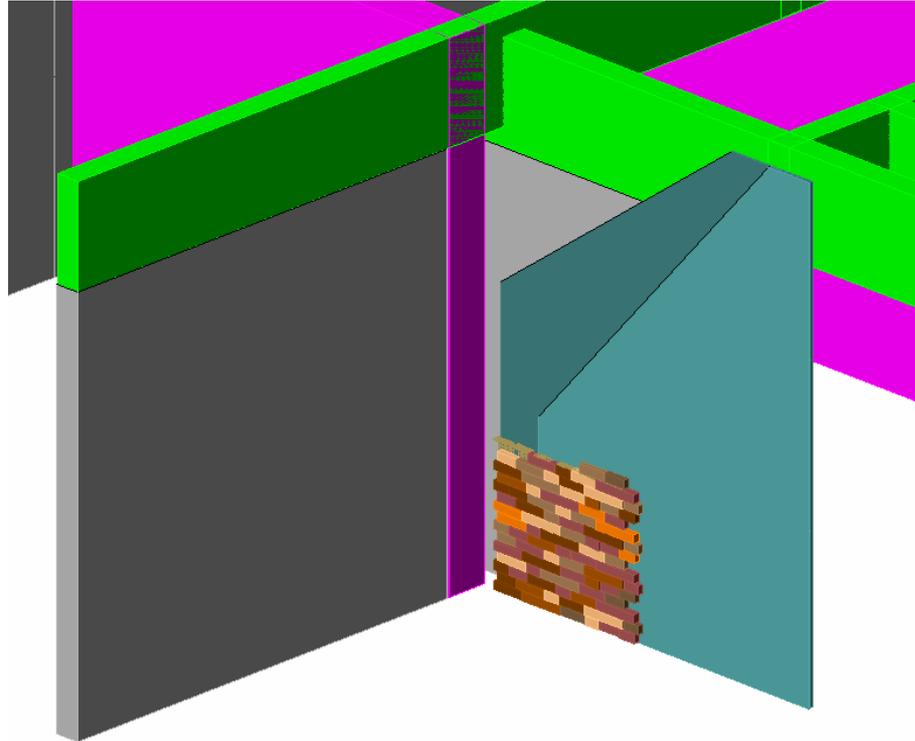


Figura 7 – Vista geral das “paredes externas” (em cinza) e da estrutura (pilar em magenta e vigas em verde), com duas camadas de argamassa (regularização e fixação, em tons de azul) e o revestimento em filetes de pedra natural (“canjiquinhas”)

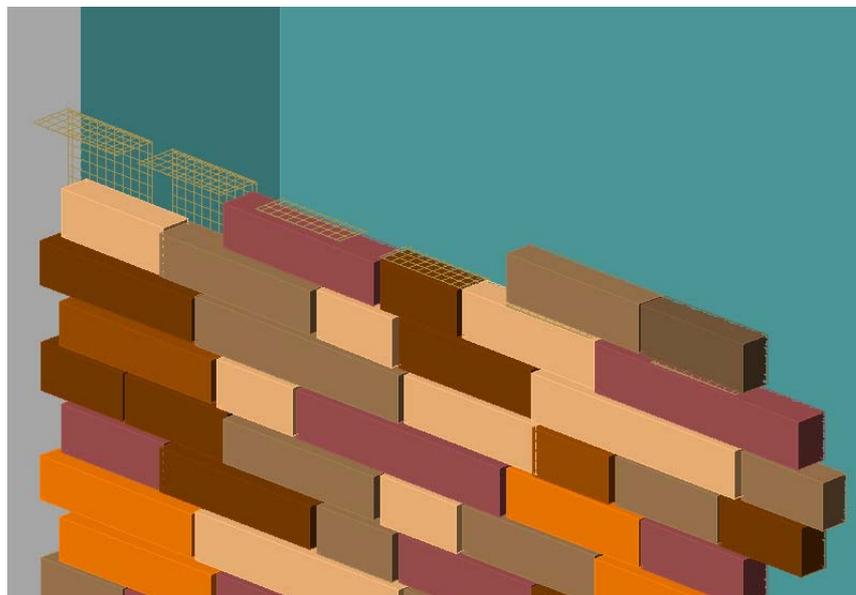


Figura 8 – Detalhe do revestimento de fachada em filetes de pedra natural sobre a alvenaria, sobre a qual são fixadas telas para dar o suporte requerido pelo revestimento.

5.3 Fase 3: Modelagem UML da semântica do estudo de caso

A partir das observações do estudo de caso, são realizadas inferências que relacionam as variáveis identificadas com os conceitos teóricos relatados nas seções 3 e 4, buscando-se uma abstração e a anotação desta através da modelagem em UML.

O conceito de Element da ISO 12006-2 difere do conceito utilizado no caso estudado. Nessa norma, Element pode ser relacionado tanto a subsistema quanto a componente ou a elemento no contexto do caso. Assim, como primeira inferência, associa-se cada componente projetado no contexto do estudo de caso, ou seja, a parede externa e o revestimento da fachada, com o conceito de Designed Element da ISO 12006-2. Para fins de notação, as classes e objetos em UML relacionados à norma ISO 12006-2 são identificados com o estereótipo <<ISO12006>> (Figura 9). Na linguagem da AOO, diz-se que componentes projetados realizam o conceito de Designed Element da norma.

Partindo do conceito de classe e objeto da AOO, infere-se que cada componente ou subsistema projetado pode ser entendido como uma instância do componente ou subsistema no nível de classificação dos objetos do caso estudado. Ou seja, a classificação dos objetos (Figura 4) define classes, enquanto que estes objetos quando projetados tornam-se instâncias das classes. Assim, uma atividade de projeto pode também ser entendida na visão da AOO como a criação de um objeto específico a partir de uma classe.

As interfaces observadas nos passos 5 a 7 do projeto estudado (seção 5.2) podem ser relacionadas aos conceitos de interfaces requeridas e oferecidas da UML, conforme discutido na seção 3.2

Considerando-se que cada componente projetado pode ser relacionado a uma classe abstrata, do qual é instância, as interfaces oferecidas e requeridas na instância são também abstraídas para a classe.

Pode-se identificar, pelas interfaces requeridas e oferecidas de cada componente projetado, uma seqüência necessária para a execução das atividades de projeto, reunindo duas disciplinas de projeto diferentes, no caso, o projeto de alvenaria e o projeto de revestimento. Cada vez que um componente está sendo projetado e uma interface requerida é encontrada é necessário dar início a atividade de projeto do componente que pode prover esta interface. Ao abstrair-se esta situação para o nível de classe, é possível fazer o seqüenciamento das atividades de projeto (scheduling) para diferentes disciplinas.

A Figura 9 mostra o modelo criado a partir das inferências realizadas sobre as observações do estudo de caso. É mostrada em detalhes a representação das interfaces identificadas na fase 2 do estudo de caso, tendo por base a classificação da informação obtida na fase 1. Os subsistemas Parede e Revestimento, representados na classificação abstrata (Figura 4), são implementados como os componentes projetados parede_externa01 e revest_externo01, respectivamente. Na linguagem da orientação a objeto, diz-se que os objetos são instâncias das classes e utiliza-se a notação objeto:Classe para representar a instância. Em última análise, vê-se uma proximidade com as características descritas do conceito de objetos AEC proposto por Halfawy e Froese (2005).

A Figura 9 também mostra as interfaces oferecidas (conexões com círculos) e requeridas (conexões com semicírculos) das classes Parede e Revestimento e dos objetos instanciados a partir destas, conforme a UML 2.0 (BJÖRKANDER e KOBRYN, 2003). Nas instâncias, as interfaces ganham identificações específicas, como tela de suporte, superfície de aplicação, etc. É mostrado também que as classes (e, por consequência, os objetos instanciados a partir delas) realizam o conceito de Designed Element da norma ISO12006, mostrando a aderência da representação utilizada com essa norma.

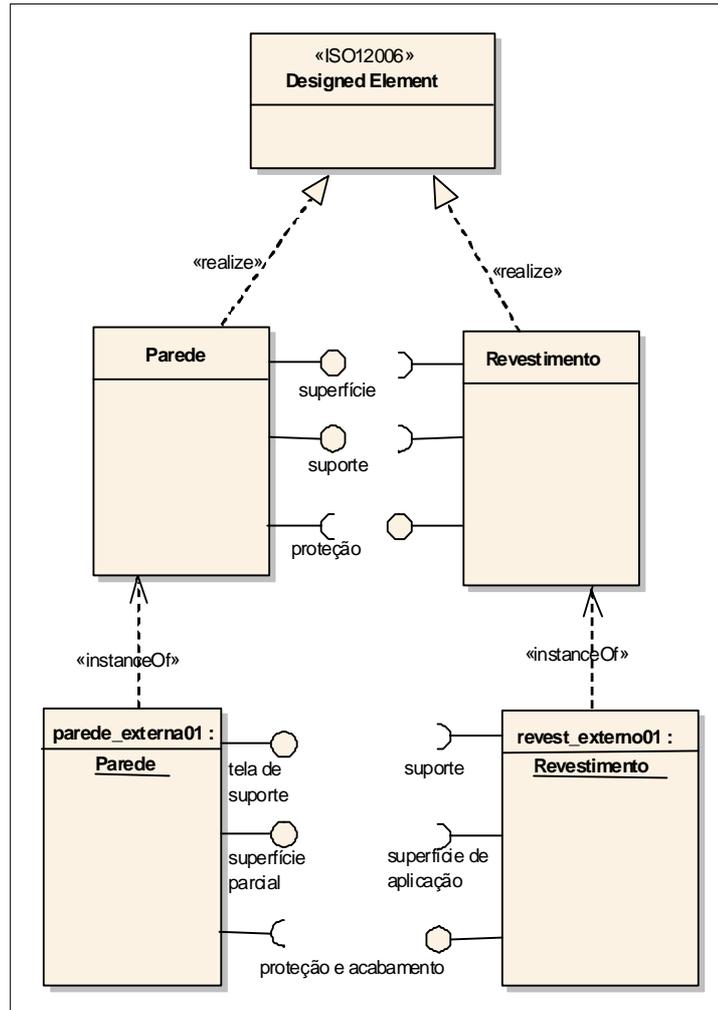


Figura 9 - Modelo em UML dos conceitos observados no estudo de caso

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a questão inicialmente proposta neste trabalho, e dentro dos limites do estudo de caso, é possível concluir que a informação em AEC pode ser compreendida não somente do ponto de vista da hierarquia de classificação, mas também em termos das diferentes formas de relacionamento todo-parte, de generalizações e especializações, de dependências e realizações. Neste sentido, percebe-se a potencialidade da UML para representar esta semântica. Em particular, destaca-se a representação explícita da relação de interfaces oferecidas e requeridas identificada entre os objetos projetados.

Percebe-se, também, uma relação entre a estrutura da informação e as atividades de projeto que, sob a ótica do desenvolvimento de SI, permite identificar não somente os aspectos estáticos de armazenamento da informação como também aspectos dinâmicos, relacionados à troca de informação entre diferentes disciplinas de projeto e o seqüenciamento de atividades de projeto. Desta forma, um SI pode integrar funcionalidades de repositório de informações com funcionalidades gerenciais e técnicas de comunicação e scheduling.

Entretanto, o estudo de caso realizado enfocou um aspecto bastante restrito do projeto de produção de edifícios, de forma que as generalizações inferidas a partir deste único estudo precisam ser vistas com cuidado. Desta forma, uma continuidade para esta pesquisa pode ser conduzida através do estudo de outros casos de projeto, visando à comprovação ou refutação da teoria aqui apresentada.

Alguns aspectos foram identificados neste estudo, mas ficaram fora do escopo pretendido, merecendo futuras investigações:

- Como fazer a representação da relação existente entre disciplina de projeto e o objeto projetado;
- Outro aspecto identificado que não está claro é até que ponto um componente projetado é o resultado de uma atividade de projeto relacionada a um subsistema ou é resultado de diferentes atividades, relacionadas a diferentes subsistemas. Ou seja, até que ponto um componente é derivado diretamente de um subsistema ou é derivado, através de diferentes atividades de projeto, de mais de um subsistema.
- Finalmente, outro enfoque para este trabalho poderia utilizar uma proposta de mapeamento da linguagem Express-G para UML tal como proposto em (ARNOLD; PODEHL, 1998), traduzindo as representações dos sistemas e elementos do edifício tal como representados através das classes IFC, para a representação UML. Oficialmente, as classes IFC são representadas na linguagem Express (ou seu correspondente gráfico, a Express-G), possibilitando que este enfoque mantenha a vantagem da compatibilidade com a proposta IFC que tem ganho, sistematicamente, mais adesão dos produtos no mercado AEC.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento parcial deste trabalho e a Maria Cristina Rocha Belderrain pelas sugestões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, F.; PODEHL, G. Best of Both Worlds - A **Mapping from EXPRESS-G to UML**. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON THE UNIFIED MODELING LANGUAGE UML'98: BEYOND THE NOTATION. 1., June 03-04, 1998. BÉZIVIN, J.; MULLER, P. (editors). . Selected Papers. KANADE, T. et all. Lecture Notes In Computer Science.. Springer-Verlag: London, vol. 1618, 1999, p. 49-63.

BJÖRKANDER, M., KOBRYN, C. **Architecting Systems with UML 2.0**. *IEEE Software*, v.20, n.4, p. 57-61, 2003.[doi:10.1109/MS.2003.1207456](https://doi.org/10.1109/MS.2003.1207456)

- BOOCH, G., RUMBAUGH, J., JACOBSON, I. **UML Guia do Usuário**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.
- EKHOLM, A.. ISO 12006-2 and IFC - **Prerequisites for Coordination of Standards for Classification and Interoperability**. *Journal of Information Technology in Construction*, v. 10, 2005, p. 275-289.
- FERREIRA, R. C. **Uso do CAD 3D na compatibilização espacial em projetos de produção de vedações verticais em edificações**. 2007. 159 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- GENERAL SERVICES ADMINISTRATION. **GSA Building Information Modeling Guide Series: - GSA BIM Guide Overview**. GSA: Washington, 2006.
- HALFAWY, M.; FROESE, T.. **Building Integrated Architecture /Engineering/ Construction Systems Using Smart Objects: Methodology and Implementation**. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 19, n. 2, 2005, p. 172-181.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12006-2: Organization of information about construction works - Part 2: Framework for classification of information**. Genebra: ISO, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10303: Industrial automation systems and integration -- Product data representation and Exchange**.: Genebra: ISO, 2002.
- IVERS, J.; CLEMENTS, P.; GARLAN, D.; NORD, R.; SCHMERL, B; SILVA, J. R. O. **Documenting Component and Connector Views with UML 2.0**. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2004. (Technical report, CMU/SEI -2004-TR-008).
- LAUDEUR, E.; BOCQUET, J.-C.; AUZET, C. **Using systems engineering to enhance concurrent engineering environment through modelling problematic**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF CONCURRENT ENTERPRISING, 9., Espoo, Finland. Proceedings... Espoo, Finland: Nottingham, 2003.
- PRESSMAN. R. S. **Engenharia de Software**. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI, W.; EDDY, F.; LORENSEN, W. **Modelagem e Projetos Baseados em Objetos**. Rio de Janeiro: Campus, 1994.
- RUTKAUSKAS, M. G. ; SANTOS, E. T. **Guidelines for Optimization of the Geometric Modeling of Automotive Body Parts**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMETRY AND GRAPHICS, 12, 2006, Salvador - BA. Proceedings.... São Paulo: EPUSP, p. 1-14, 2006.
- VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. **Case Research in Operations Management**. *International Journal of Operation & Production Management*. v. 22, n. 2, , 2002. p. 195-219. [doi:10.1108/01443570210414329](https://doi.org/10.1108/01443570210414329)
- YIN, Robert K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. São Paulo: Bookman, 2003.