ALEX RODA MACIEL

**Automação do processo de corte e dobra de armaduras
para estruturas de concreto integrada ao processo BIM**

São Paulo

2018

ALEX RODA MACIEL

**Automação do processo de corte e dobra de armaduras
para estruturas de concreto integrada ao processo BIM**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Rogério Corrêa

São Paulo
2018

ALEX RODA MACIEL

**Automação do processo de corte e dobra de armaduras
para estruturas de concreto integrada ao processo BIM**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de Concentração: Inovação na
Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Rogério Corrêa

São Paulo
2018

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Maciel, Alex Roda

Automação do processo de corte e dobra de armaduras para estruturas de concreto integrada ao processo BIM / A. R. Maciel -- versão corr. -- São Paulo, 2018.

184 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.BIM 2.IFC 3.IDM/MVD 4.Fabricação digital 5.Armaduras I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

“ às razões, inspirações e paixões da minha vida ”,
dedico a vocês este trabalho

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que acompanharam e contribuíram à minha trajetória até a realização deste trabalho.

Inicialmente aos amigos e familiares, pelo incentivo e o constante apoio assim como a compreensão pelo tempo que estive ausente ao longo deste período. Pessoas que, cada uma de seu modo, nutrem-me com alegria e agregam valor ao meu ser.

Aos professores que, desde os estudos iniciados no curso técnico no Liceu de Artes e Ofícios e na Escola Técnica Federal de São Paulo, passando pela graduação na Faculdade de Tecnologia de São Paulo, Universidade Anhembi Morumbi, Universidad Europea de Madrid, especialização na Zigurat/NossoBIM até chegar ao curso de mestrado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, alimentaram-me com os conhecimentos que compartilharam. A estes locais também agradeço por terem me proporcionado conhecer grandes amigos e amigas que permaneceram contíguos.

Aos colegas com quem tive o prazer de trabalhar os quais compartilharam os conhecimentos aplicados que complementaram minha formação.

Ao meu orientador, professor Fabiano Corrêa agradeço-o pela dedicação empreendida e por guiar-me em busca a superar aos constantes desafios encontrados ao longo deste trabalho, os quais contribuíram para expandir meu conhecimento.

As empresas e aos profissionais que participaram desta pesquisa, que cederam parte de seu tempo e forneceram informações valiosas sem as quais não teria sido possível a realização desta pesquisa. Aos autores dos trabalhos consultados que, por meio do conhecimento compartilhado por suas publicações, forneceram informações fundamentais a esta dissertação.

Ao *Sus scrofa domesticus* por me nutrir fisicamente, dando-me a energia necessária.

Por fim, agradeço sobretudo aos meus pais Ismael e Lúcia, minha irmã Flávia, meu sobrinho Pedro e minha esposa Fernanda, por nutrirem minha alma e o meu coração e por estarem sempre ao meu lado, mesmo nos momentos em que eu não pude estar presente.

RESUMO

A consolidação do processo de Modelagem da Informação da Construção (BIM) tende a contribuir para o aumento da eficiência da indústria da construção civil, fomentando novos fluxos de trabalho e permitindo o reuso de informações ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos. Apesar do potencial de integração e automação associados ao processo BIM, o uso das informações digitais contidas no modelo para facilitar a pré-fabricação de produtos para a construção mostra-se incipiente. Nota-se que emprego da fabricação digital encontra obstáculos sobretudo em setores que atuam de modo segregado, e que por isto mesmo demandam sinergia, bem como o uso de normas e padrões que possibilitem a interoperabilidade e reuso das informações geradas nas fases anteriores a fabricação. Neste contexto, foi feita uma análise do uso da fabricação digital aplicada ao processamento industrial de aço para estruturas de concreto armado (corte e dobra). Embora os fabricantes que atuam neste setor possuam suporte a interface digital com os demais agentes, a configuração de sua cadeia de produtiva, bem como os processos tradicionalmente adotados, promovem a ocorrência de ilhas de automação ligadas por transferência manual e reentrada de dados. Como forma de reduzir a intervenção manual para a transcrição dos dados, propõe-se o uso do esquema de dados *Industry Foundation Classes* (IFC) na fabricação digital de componentes de armadura. Este trabalho tem por objetivo apresentar uma solução técnica, baseada no esquema IFC, aos requisitos de troca de informação necessários no fluxo de trabalho proposto. Com base nos requisitos de troca identificados por meio do método *Information Delivery Manual* (IDM), apresenta-se como essas informações podem ser mapeadas e qual o subconjunto de dados necessários à fabricação digital baseada no esquema IFC4. Por fim, apresenta-se a documentação e validação da solução técnica desenvolvida de acordo com o método *Model View Definition* (MVD) e com o uso da ferramenta ifcDoc. Após a realização de testes com base no esquema IFC4 foi constatada a viabilidade para recuperação dos dados contidos no modelo. Entretanto também foi identificada a carência de ferramentas comerciais que suportem tal funcionalidade.

Palavras-Chave: BIM. IFC. IDM/MVD. Fabricação digital. Automação. Armaduras.

ABSTRACT

The consolidation of Building Information Modeling (BIM) possibly contributes to the increase of the efficiency in the construction industry, by fostering new workflows and data reuse throughout projects life cycle. Despite the potential for integration and automation associated with BIM, the use of the digital information contained in the model to facilitate prefabrication of construction products is still incipient. The digital fabrication finds obstacles in sectors that act in a segregated manner, henceforth needs standard adoption to allow reuse of the information generated in the phases prior to production. In this context, it was analyzed the use of digital fabrication applied to the industrial processing of reinforcement bars for concrete structures (rebar cutting and bending). Although the fabricators who act in this sector already have support to the digital interface with other agents, the supply chain configuration adopted by the Brazilian market, as well as the traditional paper-based processes employed, promote the occurrence of "islands of automation" connected by manual data transfer. In order to reduce the need for manual intervention for data re-interpretation and re-entry, it is proposed to use the Industry Foundation Classes (IFC) data schema to promote the digital interface between the reinforcing bar supply chain stakeholder's. This work aims to present an IFC-based technical solution to the fabricator's information requirements by means of the Information Delivery Manual (IDM) and Model View Definition (MVD) standards. On the basis of the exchange requirements specified by rebar fabricator through IDM method, it is presented the IFC schema subset entailed and how this information can be mapped in order to allow the use of IFC on the cut & bend rebar supply chain. Finally, the technical solution was documented in an MVD and validate with the ifcDoc tool. After conducting validation tests based on the IFC4 schema, it was verified the viability to recover the data contained in the model. However, the lack of commercial tools that support such functionality has also been identified.

Keywords: BIM. IFC. IDM/MVD. Digital Fabrication. Automation. Reinforcing Bar.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Etapas de desenvolvimento da pesquisa	24
Figura 2 – Abordagem analítica do produto e do processo de concepção e produção de armaduras	26
Figura 3 – Formas de fornecimento de vergalhões	29
Figura 4 – Primeiro estágio: Concepção e projeto estrutural.....	32
Figura 5 – Segundo estágio: Fornecimento e processamento de aço padronizados	34
Figura 6 – Exemplo de formulário para pedido de corte e dobra.....	37
Figura 7 – Segundo estágio: Fornecimento de aço pré-processado	38
Figura 8 – Exemplo de planilhamento efetuado pela empresa de corte e dobra	40
Figura 9 – Exemplo de equipamento tipo A	41
Figura 10 – Exemplo de equipamento tipo B.....	41
Figura 11 – Exemplo de equipamento tipo C	41
Figura 12 – Terminal CAM para controle de equipamento de corte e dobra.....	42
Figura 13 – Interface digital com o uso de leitores de código de barras	43
Figura 14 – Estrutura de dados do padrão BVBS	45
Figura 15 – Exemplo da codificação BVBS para um formato BF2D.....	47
Figura 16 – Interface digital projeto-produção com o emprego do padrão BVBS.....	47
Figura 17 – Interface digital projeto-produção com o software GBAR IGV	48
Figura 18 – Tela de importação do software Gbar IGV	48
Figura 19 – Interação entre agentes da indústria AECO no contexto BIM	50
Figura 20 – Modelos de abordagem para interoperabilidade	53
Figura 21 – Pilares para a interoperabilidade.....	54
Figura 22 – Evolução história do esquema de dados IFC	55
Figura 23 – Camada de recursos do esquema IFC.....	58
Figura 24 – Camada núcleo do esquema IFC.....	58
Figura 25 – Camada de interoperabilidade do esquema IFC	59
Figura 26 – Camada de domínio do esquema IFC.....	59
Figura 27 – Relação hierárquica entre as camadas conceituais do esquema IFC....	60
Figura 28 – Estrutura de dados para representação de uma estaca no IFC	61
Figura 29 – Relacionamento entre classes IFC.....	65

Figura 30 – Desenvolvimento de IDM/MVD no domínio estrutural pelo mercado norte-americano	68
Figura 31 – Processo integrado para elaboração de IDM/MVD	69
Figura 32 – Etapas do desenvolvimento de um IDM.....	71
Figura 33 – Conteúdo de um Requisito de troca	72
Figura 34 – Conceito-modelo ObjectTyping	75
Figura 35 – <i>mvd:ConceptTemplate</i> ObjectTyping	75
Figura 36– Interface da ferramenta IfcDoc.....	76
Figura 37 – Uso da ferramenta IfcDoc para validação de arquivos IFC	77
Figura 38 – Cadeia Produtiva do Aço Cortado e Dobrado	81
Figura 39 – Representação gráfica 2D típica de uma viga de concreto armado.....	83
Figura 40 – Exemplo de formatos tipo de dobra segundo norma ACI 315-99.....	85
Figura 41 – Tabela de resumo de aço segundo norma BS 8666	86
Figura 42 – Uso e suporte à interface-digital segundo os participantes da pesquisa	87
Figura 43 – Problemas encontrados na cadeia produtiva do aço cortado e dobrado	88
Figura 44 – Modelo de detalhamento de armaduras desenvolvido por meio do processo BIM	89
Figura 45 – Exemplo de PDA extraído a partir de um modelo de detalhamento de armaduras	90
Figura 46 – Rastreamento dos componentes com uso de dispositivos móveis.	91
Figura 47 – Configuração proposta para a CPACD no contexto do processo BIM ...	92
Figura 48 – Atividades da CPACD abrangidas pelo escopo do IDM.....	93
Figura 49 – Mapa de processo para interface projeto-pedido para produção de aço pré-processado	97
Figura 50 – Abordagem analítica do produto e processo de produção de armaduras segundo o IFC.....	102
Figura 51 – Estrutura espacial do empreendimento de acordo com o esquema IFC	103
Figura 52 – Seleção do tipo de agente de acordo com o esquema IFC.....	105
Figura 53 – Atributos previstos pelas entidades IfcPostalAddress e IfcTelecomAddress	106
Figura 54 – Atributos comuns aos subtipos de IfcElement.....	108

Figura 55 – Relação entre componentes e peça de armadura de acordo com o esquema IFC.....	109
Figura 56 – Identificação de componentes e peças de armadura no esquema IFC	111
Figura 57 – Declaração da área da seção nominal do vergalhão segundo o esquema IFC	113
Figura 58 – Declaração de quantitativos segundo esquema IFC	115
Figura 59 – Definição da curva diretriz por meio da entidade IfcCompositeCurve..	116
Figura 60 – Definição da curva diretriz por meio da entidade IfcIndexedPolyCurve	116
Figura 61 – Declaração dos vértices da curva diretriz pela entidade IfcIndexedPolyCurve	117
Figura 62 – Exemplo de representação mapeada de uma peça de armadura.....	118
Figura 63 – Representação de tarefas de acordo com o esquema IFC	122
Figura 64 – Modelagem do planejamento da produção de armaduras no IFC	124
Figura 65 – Definição do lote de produção de armaduras com base no IFC	125
Figura 66 – Modelagem do recebimento e estoque do aço pré-processado de acordo com o IFC.....	126
Figura 67 – Entidade IfcProjectOrder	127
Figura 68 – Solicitação do aço pré-processado de acordo com o esquema IFC	128
Figura 69 – Cadastro do MVD na ferramenta ifcDoc.....	131
Figura 70 – Caixa de diálogo para seleção de conceitos-modelo na ferramenta ifcDoc	132
Figura 71 – Atribuição de regras de uso aos conceitos selecionado.....	133
Figura 72 – Atribuição de regras de uso aos conceitos selecionado.....	134
Figura 73 – Perfil longitudinal da OAE e delimitação do modelo de teste proposto	136
Figura 74 – Seção das aduelas consideradas no modelo de teste proposto	136
Figura 75 – Área de influência de uma das aduelas consideradas no modelo de teste	137
Figura 76 – Aduela desenvolvida com o uso da ferramenta Allplan Engineering 2017	139
Figura 77 – Aduela desenvolvida com o uso da ferramenta Revit 2018.2	139
Figura 78 – Aduela desenvolvida com o uso da ferramenta Tekla Structures 2017i	139

Figura 79 – Modelagem parcial da armadura com o uso da ferramenta Allplan Engineering 2017	140
Figura 80 – Modelagem parcial da armadura com o uso da ferramenta Revit 2018.2	140
Figura 81 – Modelagem parcial da armadura com o uso da ferramenta Tekla Structures 2017i	140
Figura 82 – Validação do modelo de teste gerado pela ferramenta Revit 2018.2 ...	142
Figura 83 – Validação do modelo de teste gerado pela ferramenta Tekla Structures 2017i	143
Figura 84 – Definição de um componente de armadura por meio da programação IFC4 manual	145
Figura 85 – Processo de depuração do modelo de teste por meio da ferramenta ifcDOC.....	145
Figura 86 – Vista do modelo de teste por meio do visualizador de arquivos IFC	146
Figura 87 – Recuperação de dados de identificação do pedido.....	147
Figura 88 – Diagrama de instanciação dos requisitos de identificação	148
Figura 89 – Diagrama de instanciação dos requisitos do pedido e processo.....	148
Figura 90 – Diagrama de instanciação dos requisitos do produto.....	149
Figura 91 – Diagrama de instanciação dos requisitos BVBS	150
Figura 92 – Resultado dos testes para a recuperação dos dados do modelo IFC ..	150
Figura 93 – Conceito-modelo <i>Project Attributes</i> (Atributos do empreendimento)....	167
Figura 94 – Conceito-modelo <i>Structural elements identity</i> (Identificação dos elementos estruturais)	167
Figura 95 – Conceito-modelo <i>Actors Attributes</i> (Atributos dos Agentes).....	168
Figura 96 – Conceito-modelo <i>Stakeholder Contact</i> (Contatos do agente)	169
Figura 97 – Conceito-modelo <i>Rebar cage identity</i> (Identificação da armadura).....	170
Figura 98 – Conceito-modelo <i>Postal Address</i> (Endereço Postal).....	171
Figura 99 – Conceito-modelo <i>Telecom Address</i> (Endereço eletrônico)	171
Figura 100 – Conceito-modelo <i>Organization identity</i> (Identificação da empresa) ...	172
Figura 101 – Conceito-modelo <i>Person identity</i> (Identificação da pessoa).....	172
Figura 102 – Conceito-modelo <i>ProjectOrder attributes</i> (Atributos do pedido)	173
Figura 103 – Conceito-modelo <i>Assignment to Actor</i> (Atribuição do agente)	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais vergalhões usados como armaduras passivas	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação do aço quanto a resistência, superfície e processo produtivo	28
Quadro 2 – Modelos de negócio adotados pelas fornecedoras de aço cortado e dobrado	36
Quadro 3 – Sistemas utilizados na gestão de centrais de corte e dobra.....	39
Quadro 4 – Fabricantes de equipamentos para processamento de vergalhões	42
Quadro 5 – Padrões utilizados para interface digital no setor industrial de corte e dobra	44
Quadro 6 – Atributos requeridos pelo bloco cabeçalho do padrão BVBS	46
Quadro 7 – Tipos de relação objetificada previsto pelo esquema IFC	65
Quadro 8 – Atividade T1: Modelagem de detalhamento de armaduras	94
Quadro 9 – Atividade T2: Planejamento do lote de produção	94
Quadro 10 – Atividade T3: Solicitação do aço cortado e dobrado.....	94
Quadro 11 – EM.A: Modelo de detalhamento de armaduras	95
Quadro 12 – EM.B: Modelo de planejamento de armação.....	96
Quadro 13 – EM.C: Modelo de pedido de aço cortado e dobrado	96
Quadro 14 – Requisitos de troca para fabricação digital de aço cortado e dobrado	100
Quadro 15 – Mapeamento das informações de referência do empreendimento e da construção.....	104
Quadro 16 – Mapeamento das informações de referência dos agentes	106
Quadro 17 – Atributos IFC para representação de componentes e peças e armaduras	110
Quadro 18 – Enumeradores para declaração da função estrutural previstos no IFC	114
Quadro 19 – Conceitos-modelo específico ao presente MVD.....	130
Quadro 20 – Método adotado para representação geométrica de componentes de armadura pelas ferramentas BIM selecionadas	143

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
BIM	Building Information Modeling
BPMN	Business Process Model and Notation
bSa	buildingSMART alliance
bSi	buildingSMART international
BVBS	<i>BundesVereinigung der BauSoftwarehäuser</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CPACD	Cadeia Produtiva do Aço Cortado e Dobrado
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
EM	Exchange Model
ETO	<i>Engineered-to-order</i>
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Classes
ISO	International Organization for Standardization
MTO	<i>Make-to-order</i>
MTS	<i>Make-to-stock</i>
MVD	<i>Model View Definition</i>
NIBS	National Institute of Building Sciences
NBIMS-US	National Building Information Model Standard - United States
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PCPA	Processo de Concepção e Produção de Armaduras
PDA	Projeto de Detalhamento de Armaduras
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVO	22
1.2 MÉTODO DA PESQUISA	23
2 ARMADURAS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	26
2.1 AÇO COMO UM INSUMO DESTINADO À ARMADURA.....	27
2.2 PROCESSO DE CONCEPÇÃO E PRODUÇÃO DE ARMADURA	29
2.2.1 Concepção e projeto estrutural.....	31
2.2.2 Fornecimento e processamento do aço	32
2.2.2.1 Fornecimento de produtos padronizados de aço	33
2.2.2.2 Fornecimento de aço pré-processado.....	36
2.3 PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE AÇO CORTADO E DOBRADO	38
2.3.1 Equipamentos para produção.....	40
2.3.2 Interface digital projeto-produção	43
2.3.2.1 Padrão BVBS	44
2.3.2.2 GBAR IGV.....	47
3 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO	49
3.1 O USO DO BIM NA FABRICAÇÃO DIGITAL.....	50
3.2 INTEROPERABILIDADE NO CONTEXTO DO PROCESSO BIM	52
3.3 ISO 16739: INDUSTRY FOUNDATION CLASSES.....	55
3.3.1 Esquema de dados IFC	57
3.3.2 Estrutura de dados do esquema IFC	61
3.3.3 Relacionamento entre entidades no IFC	64
3.4 ISO 29481-1: INFORMATION DELIVERY MANUAL	65
4 MÉTODO IDM / MVD INTEGRADO	68
4.1 INFORMATION DELIVERY MANUAL – IDM	70
4.2 MODEL VIEW DEFINITION – MVD	73
5 USO DO IFC NA FABRICAÇÃO DIGITAL DE AÇO CORTADO E DOBRADO ..	78
5.1 IDM: REQUISITOS PARA FABRICAÇÃO DIGITAL DE ARMADURAS	80
5.1.1 Descoberta do processo.....	80
5.1.1.1 Cenário atual: Configuração da CPACD adotada pelo mercado brasileiro	80
5.1.1.2 Problemas encontrados na CPACD	82
5.1.1.3 Cenário pretendido: Configuração da CPACD no contexto BIM	88

5.1.2	Definição do escopo	92
5.1.3	Modelagem do processo adotado	93
5.1.3.1	Modelos de troca de informação	95
5.1.3.2	Mapa de processo.....	97
5.1.4	Requisitos de troca (Exchange Requirements)	97
5.2	MVD: SOLUÇÃO TÉCNICA À FABRICAÇÃO DIGITAL DE ARMADURAS.....	102
5.2.1	Informações de referência do empreendimento	103
5.2.2	Informações de referência dos agentes	105
5.2.3	Informações de referência dos elementos estruturais e da armadura	107
5.2.4	Modelagem de componentes e peças de armadura no esquema IFC	109
5.2.4.1	Identificação dos componentes e peças de armadura	110
5.2.4.2	Propriedades do vergalhão	111
5.2.4.2.1	Diâmetro nominal	112
5.2.4.2.2	Superfície.....	112
5.2.4.2.3	Área da seção nominal	112
5.2.4.3	Características dos componentes e peças de armadura	113
5.2.4.3.1	Comprimento unitário.....	113
5.2.4.3.2	Função estrutural	113
5.2.4.3.3	Quantitativo de materiais	114
5.2.4.3.4	Geometria do componente de armadura	115
5.2.4.3.5	Representação e posicionamento das peças de armadura	117
5.2.4.4	Instrução de dobra	119
5.2.5	Representação de processos no esquema IFC.....	120
5.2.5.1	Planejamento do lote de produção de armaduras.....	123
5.2.6	Representação do pedido no esquema IFC	126
5.2.6.1	Solicitação do fornecimento do aço cortado e dobrado	128
5.3	DOCUMENTAÇÃO MVD	129
6	VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA.....	135
6.1	PROJETO DE REFERÊNCIA: ESTUDO DE CASO	136
6.2	MODELAGEM DO PDA: MODELO DE TESTE DE PRODUTO	138
6.3	PROGRAMAÇÃO DO MODELO DE TESTE INTEGRADO	144
6.4	RECUPERAÇÃO DOS DADOS DO MODELO IFC	147

7 RESULTADOS	151
7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	151
7.2 REQUISITOS PARA FABRICAÇÃO DIGITAL DE ARMADURAS (IDM)	152
7.3 SOLUÇÃO TÉCNICA À FABRICAÇÃO DIGITAL DE ARMADURAS (MVD) ...	152
7.4 VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA	154
7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
8 CONCLUSÃO	156
REFERÊNCIAS.....	157
APÊNDICE A – CONCEITOS-MODELO ESPECÍFICOS AO PRESENTE TRABALHO	167
APÊNDICE B – EM.C MODELO DE PEDIDO DE AÇO CORTADO E DOBRADO	174
ANEXO A – MODELOS DE FORMULÁRIOS PARA SOLICITAÇÃO DE AÇO CORTADO E DOBRADO	179
ANEXO B – CONCEITOS MODELO PRÉ DEFINIDOS PELA BUILDINGSMART	182

1 INTRODUÇÃO

A Construção Civil representa um dos mais importantes setores dentro do panorama econômico do país sendo responsável não apenas pela geração direta de emprego e renda, mas também pelo consumo de bens e serviços provenientes de outros setores da economia brasileira (RUSCHEL et al.,2013).

Apesar de sua relevância, pode-se verificar a gradual queda de sua produtividade. Segundo pesquisa realizada pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) e Fundação Getúlio Vargas (FGV), entre os anos de 2012 e 2017 a produtividade da indústria da construção brasileira apresentou declínio médio de 0,4% ao ano (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2014).

De acordo com a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (2016), a queda da produtividade da mão-de-obra da cadeia produtiva¹ da construção provoca impactos na competitividade do setor. Para Teicholz (2013), a produtividade laboral da construção apresentou desempenho negativo quando comparada aos demais setores industrializados, os quais demonstraram aumento de eficiência após a metade do século 20.

Em demais setores industrializados, nota-se que a adoção de novos processos colaborativos aliados ao emprego da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) e a evolução da automação industrial promoveram melhorias na produtividade e permitiram reduzir os custos associados à produção.

Para Melhado et al. (2005), a introdução do conceito de projeto simultâneo em substituição ao processo de projeto sequencial contribuiu à indústria seriada diminuir as incertezas, retrabalhos, desperdícios e custo decorrentes ao processo tradicional, proporcionando melhor desempenho e menor prazo para elaboração dos produtos.

A introdução do conceito *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) permitiu integrar, com o suporte de sistemas computacionais, as fases de projeto do produto, planejamento de produção, controle da operação industrial e demais funções relacionadas (GROOVER, 2001), reduzindo a intervenção manual na interface entre o projeto e a produção.

---

¹ O termo Cadeia Produtiva é definido, segundo o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), como o “conjunto de atividades que se articulam progressivamente desde os insumos básicos até o produto final, incluindo distribuição e comercialização, constituindo-se em segmentos (elos) de uma corrente” (MCT,2000).

Pode-se relacionar a maior dificuldade ao emprego de sistemas industrializados e componentes pré-fabricados na indústria da construção às características dos produtos de construção civil. Diferentemente de outras indústrias, nas quais as definições de projeto são validadas por meio de protótipos antes do início de sua produção em massa, cada empreendimento é, ao mesmo tempo, um produto final e um protótipo.

A singularidade inerente aos empreendimentos de construção civil demanda o emprego de componentes construtivos projetados e fabricados sob encomenda, os quais requerem sinergia entre os agentes envolvidos para viabilizar sua pré-fabricação. Embora a produção de grande parte dos componentes customizados possa ser realizada em ambiente industrial, verifica-se, sobretudo no mercado nacional, que os mesmos continuam a ser produzidos em campo, internamente no canteiro de obra.

Não obstante, problemas relacionados ao projeto, em função do detalhamento insuficiente, falhas de coordenação entre as diversas especialidades de projeto (MELHADO et al., 2005) e a falta de conhecimento técnico para perceber as interfaces entre as diversas disciplinas (SILVA; SOUZA, 2003), provocam incertezas que dificultam a uma maior adoção de componentes e sistemas pré-fabricados.

Assim como ocorrido em demais setores industriais, onde o aumento de sua eficiência foi sustentado pela abordagem de processos colaborativos aliados ao uso da TIC e automação industrial, o processo da modelagem da informação da construção (BIM) pode proporcionar à construção civil a retomada da produtividade e redução de desperdícios.

O acrônimo BIM, *Building Information Modeling*, representa uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos associados, destinados à produção, comunicação e análise de modelos de informação (EASTMAN et al., 2011) que retratam as características físicas e funcionais dos empreendimentos de construção civil em formato digital (NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, 2015).

O processo BIM estabelece um novo paradigma, um novo modo de se conceber, projetar, construir e operar empreendimentos de construção civil que, em contraste aos processos tradicionalmente empregados na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), fomenta um fluxo de trabalho integrado e colaborativo, promovendo a integração entre os diversos agentes envolvidos e o reuso das informações ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos.

Entre os diversos usos suportados pelo processo BIM, destaca-se o uso das informações digitais contidas nos modelos integrada a pré-fabricação de produtos construtivos, processo denominado “fabricação digital”. Embora visto como um dos maiores beneficiários do processo BIM (EASTMAN et al., 2011), pesquisas revelam tratar-se de um uso ainda pouco explorado por alguns segmentos.

O uso efetivo da fabricação digital encontra obstáculos, sobretudo em setores que envolvam múltiplos agentes atuando de modo segregado, os quais requerem sinergia bem como o uso de normas e padrões que possibilitem a interoperabilidade e reuso de informações geradas ao longo do processo.

De modo a atender plenamente as necessidades de uma indústria diversificada, caracterizada por ciclos longos no qual atuam múltiplos intervenientes, torna-se igualmente importante a adoção de padrões abertos e não-proprietários que promovam a interoperabilidade ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos, o qual é representado atualmente pelo padrão *Industry Foundation Classes* (IFC).

Neste contexto, optou-se por analisar o uso do padrão IFC no suporte à fabricação digital aplicada ao processamento industrial de aço para estruturas de concreto armado (corte e dobra), em função da configuração da cadeia produtiva adotada pelo mercado nacional e processos tradicionalmente empregados pelo setor.

Embora a automação e os processos adotados pelas empresas prestadoras de serviços de corte e dobra tenham evoluído nas últimas décadas, nota-se que o mesmo não ocorreu com a mesma intensidade aos demais intervenientes.

As informações necessárias à produção, contidas no Projeto de Detalhamento de Armaduras (PDA) e no pedido de compra fornecidos pela construtora, mantiveram-se baseados em documentos impressos apesar de serem geradas com o emprego de ferramentas digitais.

Essas informações, fornecidas de modo analógico, precisam ser transcritas pelo fabricante antes do início da produção por meio de um processo manual o que, segundo Navon, Rubinovitz e Coffler (1998), provoca a ocorrência de "**ilhas de automação**" ligadas por transferência manual de dados.

Apesar da existência de padrões ou formatos de arquivos que viabilizem a interface digital entre o projeto e a produção industrial de aço cortado e dobrado, os padrões vigentes limitam-se à interface entre o projetista e o fabricante, e não possibilitam a inclusão de definições fornecidas pela construtora as quais mantem-se em formato analógico.

Assim como destacado por Aram, Eastman e Sacks (2013), torna-se necessário o aprimoramento dos padrões existentes ou o desenvolvimento de novos padrões de modo a reduzir a necessidade de intervenção manual por parte do fabricante. No entanto, deve-se prever a interação com o agente construtor e possibilitar a inclusão das definições sob sua responsabilidade.

Deste modo, foram identificados os requisitos de informações necessárias à interface digital entre os principais intervenientes da cadeia produtiva do aço cortado e dobrado, segundo a metodologia *Information Delivery Manual* (IDM) e *Model View Definition* (MVD), de forma a nortear o desenvolvimento de novos padrões baseados no esquema de dados IFC.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar uma solução técnica aos requisitos de troca de informações necessárias à interface digital projeto-produção industrial de aço cortado e dobrado² com base no esquema de dados *Industry Foundation Classes* (IFC). Consiste no desenvolvimento e documentação de um *Model View Definition* (MVD) destinado à fabricação digital de componentes de armadura por meio do esquema IFC.

Para isto, tornou-se necessária a consecução das seguintes etapas intermediárias, as quais constituem os objetivos específico da pesquisa, sendo:

- a) Identificar a atual configuração adotada pela cadeia produtiva do aço cortado e dobrado nacional bem como eventuais problemas que afetam sua produtividade;
- b) Analisar a influência que o processo BIM e a fabricação digital exercem em sua cadeia produtiva e propor um fluxo de trabalho otimizado ao contexto da modelagem da informação da construção;
- c) Identificar os requisitos de troca informações necessárias à interface digital entre os agentes projetista, construtor e fabricante de aço cortado e dobrado e mapear qual o respectivo subconjunto de dados IFC aplicável;
- d) Verificar a viabilidade para recuperação de dados IFC a partir da solução técnica proposta assim como o atual suporte de ferramentas BIM ao esquema IFC4.

---

² Considera-se, neste trabalho, aço cortado e dobrado como componente pré-fabricado produzido por meio de processo industrializado, realizado fora do canteiro de obras.

1.2 MÉTODO DA PESQUISA

O método adotado no desenvolvimento deste trabalho foi o da pesquisa construtiva³ (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993; MARCH; SMITH, 1995; LUKKA, 2003). Este método reflete os objetivos propostos nesta pesquisa bem como os esperados pelo programa de mestrado no qual está inserido: a busca por soluções aplicáveis a problemas enfrentados no mercado profissional em sinergia com a academia.

A pesquisa construtiva é um método que visa produzir construções inovadoras, destinadas a solução de problemas enfrentados no mundo real, e, conseqüentemente, promover contribuições à teoria da disciplina em que é aplicada (LUKKA, 2003).

Segundo Kasanen, Lukka e Siitonen (1993), esta abordagem caracteriza-se pela divisão do processo de pesquisa em fases: 1) Encontrar um problema, prático e relevante, que possua potencial para uma contribuição teórica; 2) Obter a compreensão abrangente sobre o tema; 3) Construir a solução inovadora; 4) Demonstrar que a solução funciona; 5) Apresentar a contribuição teórica da pesquisa; 6) Analisar o alcance de aplicabilidade da solução.

De acordo com March e Smith (1995), os dois principais aspectos deste método consistem na construção e na avaliação. O primeiro destina-se a construção de um artefato (a solução ao problema). O segundo ao âmbito científico da pesquisa, desenvolver, avaliar, teorizar e justificar o artefato proposto.

Para Hevner et al. (2004), os artefatos de TIC são definidos como constructos (vocabulários e símbolos), modelos (abstrações e representações), métodos (algoritmos e rotinas) e instanciações (sistemas implementados e protótipos).

De modo a atingir os objetivos expostos na seção 1.1, o desenvolvimento deste trabalho foi estruturado em seis etapas. As quatro primeiras etapas foram desenvolvidas paralelamente e demandaram vários ciclos de interação.

A Figura 1 apresenta as etapas de desenvolvimento do trabalho. As etapas relacionam-se com as fases do método de pesquisa construtiva da seguinte forma: etapa 1 (1ª e 2ª fase da pesquisa construtiva), etapas 2, 3, 4 e 5 (3ª fase da pesquisa construtiva) e etapa 6 (4ª e 6ª fase do método de pesquisa construtiva).

---

³ Denominado *Constructive Research* ou *Design Science Research* na literatura internacional

Figura 1 – Etapas de desenvolvimento da pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira etapa foi realizada ao longo de todo o período de desenvolvimento deste trabalho e exigiu a interação com os agentes que atuam no segmento de estruturas de concreto armado e da modelagem da informação da construção. Teve como objetivo proporcionar ao autor uma compressão abrangente sobre o tema bem como analisar a relevância, potencial aplicação prática e contribuição acadêmica.

Inicialmente, buscou-se obter a compreensão geral sobre os processos atualmente empregados na concepção e produção de armaduras, conceitos sobre a modelagem da informação da construção e fabricação digital aplicada ao processamento industrial de vergalhões.

Por meio da revisão bibliográfica e contato com os agentes que atuam neste setor buscou-se aprofundar a compreensão acerca das atividades relacionadas à concepção e produção de armaduras adotadas pelo mercado brasileiro, o processo

empregado na produção industrial de aço cortado e dobrado bem como soluções disponíveis no mercado nacional e internacional para interface digital com equipamentos e sistemas de produção industrial.

Paralelamente, foram realizados estudos específicos sobre interoperabilidade no contexto do processo BIM e principais padrões e métodos adotados para este fim. Foram selecionados para o desenvolvimento da solução ao problema proposto o padrão IFC e os métodos IDM e MVD.

Nesta etapa inicial também identificou-se a necessidade de atualização do procedimento necessário à aplicação integrada dos métodos IDM e MVD (segunda etapa do trabalho) bem como a necessidade de se levantar a configuração adotada no mercado brasileiro para o fornecimento de aço cortado e dobrado (terceira etapa do trabalho). Este levantamento foi realizado por meio de entrevistas, visitas técnicas e questionários semiestruturados.

Previamente ao desenvolvimento da solução técnica foram levantados, de acordo com o método IDM, os requisitos de troca de informação necessários à interface entre o projetista, construtor e fabricante (etapa 4).

Com base nestas informações procedeu-se o desenvolvimento da solução técnica de acordo com o método MVD (etapa 5). Foram mapeados como os requisitos de troca identificados no IDM são descritos no esquema IFC e qual o respectivo subconjunto de dados IFC necessário à fabricação digital de componentes de armadura. Em seguida procedeu-se a documentação do MVD em formato interpretável por computadores (mvdXML) por meio da ferramenta ifcDoc.

A última etapa destinou-se a validação da solução técnica proposta e analisar sua aplicabilidade prática. O processo de validação consistiu no desenvolvimento de um modelo de teste, em formato IFC4, contendo as informações requeridas pelo fabricante e sua validação com o uso da ferramenta ifcDoc.

Por fim, buscou-se analisar a viabilidade para recuperação dos dados necessários à solicitação do aço cortado e dobrado (requisitos de troca do pedido), tendo como cenário o modelo de testes armazenado em um servidor BIM.

2 ARMADURAS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO

A armadura é definida, segundo Freire (2001), como a associação de diversas peças de aço que compõem um conjunto a ser aplicado em um determinado elemento estrutural. Sob o ponto de vista do construtor, sua aplicação envolve um conjunto de atividade interdependentes aos demais subsistemas relacionados à produção da estrutura de concreto armado (SALIM NETO, 2009; ARAÚJO, 2005).

Por outro, ao analisar a armadura sob a óptica do fabricante tem-se um produto composto por um conjunto de componentes discretos obtidos a partir do processamento de vergalhões em um formato definido de acordo com a função que exercerá quando aplicada.

Nesse contexto, apresenta-se na Figura 2 a abordagem que será empregada no desenvolvimento deste trabalho a qual estende a proposta de Salim Neto (2009) quanto ao tratamento analítico do processo de produção de armaduras.

Figura 2 – Abordagem analítica do produto e do processo de concepção e produção de armaduras

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em (SALIM NETO, 2009)

2.1 AÇO COMO UM INSUMO DESTINADO À ARMADURA

O aço destinado à armadura passiva para estruturas de concreto armado possui classificação, características físicas e propriedades mecânicas estabelecidas de acordo com normativas nacionais ou regionais⁴, no caso do mercado brasileiro, estabelecidas segundo a norma NBR 7480 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

Além de especificar os requisitos necessários à fabricação, encomenda e fornecimento, essa norma padroniza quais os diâmetros dos vergalhões⁵ produzidos pelo parque siderúrgico nacional.

De acordo com o processo empregado em sua produção, os vergalhões são classificados em:

- **Barras de aço:** produtos obtidos exclusivamente por processo de laminação à quente, com diâmetro nominal igual ou maior a 6,3mm ou;
- **Fios de aço:** produzidos a partir de fio-máquina por processo de trefilação ou laminação à frio, com diâmetro nominal igual ou menor que 10mm.

De modo a garantir a aderência entre o aço e o concreto, e que ambos materiais trabalhem de forma solidária, os vergalhões devem atender aos requisitos mínimos de conformação superficial (η) especificados pela NBR 7480. No caso dos fios de aço, sua superfície pode ser lisa, entalhada ou nervurada desde que atendam aos índices previstos pela norma. Para fios com diâmetro nominal igual a 10mm, torna-se obrigatória a existência de nervuras ou entalhes.

A superfície das barras deve, obrigatoriamente, ser providas de nervuras transversais oblíquas, dispostas em ângulo entre 45° e 75° em relação ao eixo da barra, e possuir no mínimo duas nervuras longitudinais contínuas de modo a prevenir o giro da barra dentro do concreto. Caso as nervuras transversais sejam dispostas de modo a oporem-se ao giro torna-se dispensável o uso de nervuras longitudinais.

Em função de suas propriedades mecânicas os vergalhões são categorizados de acordo com o valor característico da resistência ao escoamento do aço (expresso em kgf/mm² e precedido pela sigla CA, Concreto Armado). O Quadro 1 apresenta as

---

⁴ Como por exemplo, segundo a norma ASTM A615 no mercado norte-americano ou a norma EN 10080 no mercado europeu.

⁵ Segundo a NBR 6215 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011) vergalhões são barras ou fios redondos, com ou sem nervuras, utilizados como armaduras de concreto armado.

categorias previstas pela norma NBR 7480 bem como respectiva classificação, tipo de superfície e requisitos mínimos de resistência e conformação superficial.

Quadro 1 – Classificação do aço quanto a resistência, superfície e processo produtivo

Categoria	Resistência característica de escoamento [Mpa]	Classificação	Tipo de superfície	Coefficiente de conformação superficial mínimo
CA-25	250	Barras	Lisa	$\eta = 1,0$
CA-50	500	Barras	Nervurada	$\eta = 1,5$
CA-60	600	Fios	Lisa ($\varnothing < 10\text{mm}$) Nervurada ou entalhada ($\varnothing < 10\text{mm}$)	$\eta = 1,5$

Fonte: adaptado da norma NBR 7480 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007)

Segundo Fusco (2013), a escolha do tipo do aço baseia-se em questões econômicas e disponibilidade de mercado, prevalecendo, em geral, a opção pelo aço CA-50. O mesmo autor destaca que é vetado o uso simultâneo de diferentes categorias de aço em um elemento estrutural, exceto quando não ocorra o risco de troca na montagem da armadura na obra, como por exemplo, quando adotado aço CA-60 para a armadura transversal (estribos) e aço CA-50 para armadura longitudinal.

A Tabela 1 apresenta as características físicas dos vergalhões tipicamente empregados em estruturas de concreto armado pelo mercado brasileiro.

Tabela 1 – Principais vergalhões usados como armaduras passivas

Diâmetro nominal [mm]		Massa nominal [kg/m]	Variação permitida para massa nominal (kg/m)		Área nominal da seção [mm ²]	Perímetro nominal [mm]	Categoria
Fios	barras		mín.	máx.			
5,0		0,154	0,145	0,163	19,6	15,7	CA-60
	6,3	0,245	0,228	0,262	31,2	19,8	CA-50
	8,0	0,395	0,367	0,423	50,3	25,1	
	10,0	0,617	0,580	0,654	78,5	31,4	
	12,5	0,963	0,905	1,021	122,7	39,3	
	16	1,578	1,499	1,657	201,1	50,3	
	20	2,466	2,343	2,589	314,2	62,8	
	25	2,984	2,865	3,103	380,1	69,1	
	32	3,853	3,699	4,007	490,9	78,5	
	40	6,313	6,060	6,566	804,2	100,5	

Fonte: adaptado da norma NBR 7480 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007)

Assim como os demais produtos siderúrgicos longos, os vergalhões de aço são comercializados em comprimento definido, determinado em funções de fatores logísticos e restrições quanto ao seu comprimento e massa. Em geral, são fornecidos sob a forma de feixes de barras ou fios retos (Figura 3A), dobrados (Figura 3B) ou rolos (Figura 3C). No varejo, os vergalhões também são comercializados por meio de barras e fios unitários.

Seu fornecimento segue as recomendações previstas pela NBR 7480, a qual estipula condições à forma de fornecimento, identificação e rastreabilidade dos produtos, encomenda e sua inspeção. As barras e fios retos são usualmente fornecidas com comprimento de 12 metros, sendo admitido, em comum acordo entre o fornecedor e consumidor, outros comprimentos. Para ambos os casos deve-se respeitar a tolerância de $\pm 1\%$ em seu comprimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

Figura 3 – Formas de fornecimento de vergalhões

A - Feixe de vergalhões retos

B - Feixe de vergalhões dobrado

C - Vergalhões em rolo

Fonte: Arcelor Mittal

2.2 PROCESSO DE CONCEPÇÃO E PRODUÇÃO DE ARMADURA

O processo de transformação do aço, de um insumo em um componente construtivo, contempla um conjunto de atividades inter-relacionadas até que o mesmo exerça uma função específica em uma estrutura de concreto armado.

Esse processo, embora possua um resultado comum, pode adquirir diferentes configurações em função do método empregado em sua transformação, relação entre seus intervenientes, modo de contratação, práticas locais e tipologia do

empreendimento, sendo objeto de estudo de diversos autores nacionais (FREIRE, 2001; MARDER; FORMOSO, 2004; ARAÚJO; SILVA; SOUZA, 2004; ARAÚJO, 2005; SALIM NETO, 2009; CARLOTT, 2012; ISATTO; AZAMBUJA; FORMOSO, 2015) e internacionais (NAVON; RUBINOVITZ; COFFLER, 1998; POLAT; BALLARD, 2003; CASALEIRO, 2010; ARAM; EASTMAN; SACKS, 2013; RIBEIRO, 2013; YUN; KIM, 2013; CLEVINGER; KHAN, 2014)

Segundo Freire (2001), a produção de armaduras para estruturas de concreto armado moldadas *in loco* divide-se em duas partes. A primeira contempla o processo de concepção da estrutura e é marcada pela interação entre o projetista e construtora. A segunda parte, denominada “processo de armação”, subdivide-se em três etapas, compostas pelo **recebimento**, **processamento** (corte e dobra, pré-montagem e montagem) e **posicionamento** da armadura nas formas.

Para Araújo (2005), o “Processo de Concepção e Produção de Armaduras (PCPA)” engloba três etapas: i) projeto; ii) fabricação (corte e dobra); iii) armação. Em sua pesquisa, o autor aborda o fornecimento de armaduras pré-processadas industrialmente e considera que a etapa de armação compreende o conjunto de atividades de planejamento, controle, inspeção e montagem final.

Salim Neto (2009), baseia-se na proposta apresentada por Freire (2001), porém considera que a segunda parte, o processo de armação, é composto por duas etapas. Para esse autor, a atividade montagem final, executada durante a etapa de processamento, engloba as atividades de posicionamento das armaduras nas fôrmas.

Embora existam divergências em relação a ordenação das atividades e terminologia adotada pelos autores supracitados, verifica-se consenso quanto a existência de três estágios plenamente definidos: concepção (projeto e detalhamento estrutural), fornecimento e processamento (corte e dobra) e montagem das armaduras em seu respectivo elemento estrutural.

Para efeito deste trabalho, adota-se o termo “Processo de Concepção e Produção de Armaduras” (PCPA) proposto por Araújo (2005) e configuração composta por três estágios, divididos em:

- I. Concepção e projeto estrutural;
- II. Fornecimento e processamento do aço (inclusive o estoque do aço no canteiro);
- III. Armação.

A seguir são apresentados brevemente os dois primeiros estágios do PCPA tendo como base os trabalhos de Freire (2001), Marder e Formoso (2004), Araújo (2005) e Salim Neto (2009). Maiores informações, em particular sobre o processo de armação, encontram-se descritas em detalhes pelos referidos autores.

2.2.1 Concepção e projeto estrutural

O primeiro estágio do PCPA envolve a concepção do sistema estrutural e o projeto das armaduras necessárias, sendo marcado pela interação entre o agente contratante e o projetista estrutural. Sua primeira etapa consiste na definição das premissas e requisitos do empreendimento. Embora recomendável, em muitos casos ainda não há a definição da empresa que será responsável pelo projeto estrutural e, segundo Marder e Formoso (2004), qual o tipo de fornecimento de aço será adotado (pré-processado ou produzido internamente ao canteiro de obras).

O processo de projeto estrutural se inicia, efetivamente, com o recebimento dos documentos de referência contendo as definições e premissas fornecidas pelo contratante, que serão usadas como base à proposição da tipologia estrutural adequada ao empreendimento.

A próxima etapa tem por objetivo a análise estrutural e o dimensionamento dos elementos estruturais. Por meio de diferentes níveis de abstração que representam a estrutura física real idealizada (MARTHA, 2010), procede-se à discretização, cálculo e comprovação das hipóteses, simplificações e demais considerações previstas no modelo analítico, possibilitando o dimensionamento final das fôrmas e armaduras necessárias.

As informações geradas ao término dessa etapa são repassadas ao responsável pelo projeto de fôrmas e, após o detalhamento, emissão e aprovação pelo contratante, procede-se o desenvolvimento do projeto de detalhamento de armaduras.

O desenvolvimento do Projeto de Detalhamento de Armaduras (PDA) representa a última etapa do processo de projeto estrutural e a materialização do projeto da estrutura de concreto armado como um produto perante os demais agentes. Trata-se da etapa do PCPA destinada ao detalhamento dos componentes que irão compor a armadura dos elementos estruturais. Tem como objetivo fornecer subsídios ao fornecimento, produção das peças de armadura e à montagem das armaduras em campo.

De acordo com Araújo (2005), consiste em um documento único que contém as informações necessárias à fabricação e a montagem. Segundo este autor, o PDA deve contemplar as seguintes informações: formato do vergalhão com a indicação individual das medidas, diâmetro, quantidades, espaçamento entre barras, posição de camadas, comprimentos de emendas e ancoragem, diâmetro dos pinos de dobramento, marcas (posições) para lista de barras, cobrimento do concreto, indicações sobre o tipo de aço .

O primeiro estágio finaliza-se com a entrega e aprovação do projeto de detalhamento de armaduras pelo contratante.

A Figura 4 apresenta, esquematicamente, as etapas do estágio de concepção e projeto estrutural. As setas indicam o fluxo do processo de projeto e a interação entre os agentes envolvidos. A numeração e a ordem das etapas baseiam-se na configuração proposta por Marder e Formoso (2004). Embora algumas etapas se desenvolvam de modo cíclico, de forma a contemplar a evolução do projeto desde sua versão preliminar ao projeto executivo, para efeito desse trabalho, consideram-se os produtos resultantes das etapas de detalhamento em sua emissão final.

Figura 4 – Primeiro estágio: Concepção e projeto estrutural

Fonte: Elaborado pelo autor

2.2.2 Fornecimento e processamento do aço

O segundo estágio do PCPA destina-se ao fornecimento e processamento (corte e dobra) dos componentes de armadura, no qual atuam o agente construtor e o fornecedor de aço. Sua configuração é determinada de acordo com a categoria de produto a ser adotada no fornecimento.

Segundo Eastman et al. (2011), os produtos para construção civil podem ser classificados em três categorias⁶: i) produtos padronizados; ii) produtos feitos sob encomenda e; iii) produtos projetados sob encomenda.

Os produtos padronizados são produzidos conforme previsão de demanda e mantidos em estoque. Os produtos feitos sob encomenda possuem projeto pré-definido (previsto em catálogos) e são produzidos mediante a solicitação do cliente. Alguns autores classificam certos produtos que demandem pequena customização, como a especificação de seu comprimento, também como um produto feito sob encomenda. Já os produtos projetados sob encomenda são altamente customizáveis e são fabricados especificamente para um determinado projeto.

Embora os produtos padronizados de aço sejam classificados consensualmente, os componentes de armadura pré-processados são classificados por alguns autores como um produto feito sob encomenda (ISATTO; AZAMBUJA; FORMOSO, 2015; MARDER; FORMOSO, 2004; MARDER et al., 2004) ou considerados por outros autores como um produto projetado sob encomenda (EASTMAN et al., 2011; YUN; KIM, 2013).

Pode-se relacionar este fato a variações quanto a configuração da cadeia produtiva e práticas regionais adotadas no setor do aço pré-processado. No caso do mercado norte-americano, tanto o PDA quanto o beneficiamento do aço são realizados pelo fabricante (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1999) ou sob sua coordenação, enquanto que, no Brasil, essas atividades são realizadas por dois agentes distintos.

2.2.2.1 Fornecimento de produtos padronizados de aço

Quando fornecido sob a forma de produtos padronizados, o aço é tratado como um insumo básico, sendo a relação entre a construtora e fornecedora de aço tratada sob a óptica de cadeia de suprimentos.

Com base no projeto estrutural, fornecido pela contratante, cabe à empresa construtora a formulação do pedido de compra contendo estimativas de consumo de aço, prazos de fornecimento e condições de acesso ao canteiro.

---

⁶ Na literatura internacional, os produtos padronizados são denominados *Make-to-stock* (MTS), produtos feitos sob encomenda denominados *Make-to-order* (MTO) e os produtos customizados projetados sob encomenda denominados *Engineered-to-order* (ETO).

Inicia-se a negociação comercial junto às empresas fornecedoras de aço que, em função de acordos comerciais, porte do empreendimento ou da construtora, poderá ser realizada diretamente com a siderúrgica ou com distribuidores de aço.

Após a aprovação da proposta e formalização do contrato comercial, a construtora procede ao envio da programação de entrega do aço de acordo com o planejamento executivo do empreendimento.

O aço, entregue pela fornecedora no local do empreendimento conforme datas planejadas, é estocado e posteriormente processado (cortado e dobrado) internamente no canteiro de obras, de acordo com as dimensões e formatos definidos no PDA. A Figura 5 ilustra, esquematicamente, a interação entre a construtora e a fornecedora de aço.

Figura 5 – Segundo estágio: Fornecimento e processamento de aço padronizados

Fonte: Elaborado pelo autor

As etapas de 11 a 14 da Figura 5 repetem-se até o término da execução da estrutura do empreendimento. Pode-se, de acordo com o tipo de produto adotado suprimir algumas das etapas do fluxo proposto. A seguir apresentam-se os tipos de produtos padronizados tipicamente encontrados no mercado brasileiro.

a) Vergalhões de aço

O fornecimento de aço em barras e fios retos representa uma alternativa consagrada, tradicionalmente empregada pelo mercado brasileiro, e segundo Salim Neto (2009), durante muito tempo a única disponível. Possui farta disponibilidade em todo o território nacional e produção padronizada pela norma NBR 7480 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

O processamento dos vergalhões, usualmente fornecido com comprimento de doze metros, realiza-se internamente ao canteiro de obras com emprego de

ferramentas manuais ou equipamentos de pequeno porte. Segundo Araújo (2005), trata-se de uma prática corrente no mercado brasileiro, sobretudo em locais situados fora dos grandes centros.

Segundo Salim Neto (2009), essa operação pode apresentar consideráveis índices de desperdício quando comparada a outros tipos de fornecimento. Para Freire (2001), devido ao comprimento fixo dos vergalhões, seu melhor ou pior aproveitamento depende da capacidade, experiência, assim como motivação dos armadores e encarregados. Como forma de reduzir o desperdício, Freire (2001) aponta a necessidade de prever-se um “plano de corte” e a utilização do material resultante em outros elementos estruturais.

Salim Neto (2009) expõe o menor espaço necessário ao armazenamento e facilidade para recebimento como potenciais vantagens a esse tipo de fornecimento.

b) Telas soldadas

Telas soldadas são armaduras pré-fabricadas constituídas por fios de aço longitudinais e transversais sobrepostos, dispostos em forma de malhas retangulares, tendo seus pontos de contato soldados por resistência elétrica. Possuem fabricação e características prescritas pela norma NBR 7481 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990) e são comercializados por metro quadrado.

Embora possam ser empregadas como armadura transversal (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) são usualmente empregadas em elementos estruturais planos. Segundo Freire (2001), seu uso dispensa a etapa de processamento em campo, com exceção a eventuais cortes. Salim Neto (2009) salienta que o projeto de detalhamento de armaduras deve ser adaptado ao uso dessa forma de fornecimento.

c) Armaduras pré-fabricadas

Tratam-se de armaduras pré-montadas industrialmente, produzidas em dimensões e formatos previstos em catálogos e com diâmetro e quantidade de vergalhões pré-definidos. Denominadas popularmente como “armadura pronta”, destinam-se, basicamente, à autoconstrução e a execução de estruturas de pequeno porte.

2.2.2.2 Fornecimento de aço pré-processado

A industrialização do processo de corte e dobra do aço estabeleceu uma nova configuração de cadeia produtiva, na qual o agente responsável pelo fornecimento de aço, anteriormente encarregado pelo fornecimento de aço em barras padronizadas, passou a exercer a prestação de serviço de corte e dobra e, eventualmente, a pré-montagem das armaduras.

As primeiras etapas, destinadas à negociação comercial, mantêm-se semelhantes à configuração adotada ao fornecimento de produtos padronizados. Em função do modelo de negócio adotado pela fornecedora de aço pré-processado, decorrentes de sua relação comercial com a fornecedora de insumos siderúrgicos, essa negociação poderá ser efetuada diretamente entre a construtora e a empresa siderúrgica. No Quadro 2 apresentam-se três modelos de negócio adotados pelas empresas beneficiadoras de aço cortado e dobrado.

Quadro 2 – Modelos de negócio adotados pelas fornecedoras de aço cortado e dobrado

Modelo	Descrição
proprietária	Pertence ao mesmo grupo empresarial da empresa siderúrgica.
credenciada	Apesar de não pertencerem ao mesmo grupo empresarial possuem contrato de exclusividade quanto ao fornecimento de insumos siderúrgicos. A negociação comercial do aço é realizada entre a construtora e a siderúrgica, sendo a prestação de serviço de corte e dobra realizado pela empresa credenciada indicada.
independente	Possui autonomia para aquisição dos insumos entre as diversas empresas siderúrgicas atuantes no mercado.

Fonte: Levantamento realizado pelo autor

Após a conclusão de questões contratuais, cabe a construtora, de acordo com o planejamento executivo da obra, coordenar e realizar a formalização do pedido e o envio do PDA à empresa prestadora do serviço de corte e dobra.

A solicitação do pedido é realizada por meio de formulários padronizados, fornecidos pelo prestador de serviço de corte e dobra e preenchidos pela construtora de acordo com o planejamento executivo da obra, os quais são entregues juntamente com o projeto de detalhamento de armadura correspondente à empresa beneficiadora de aço.

Sua programação deve atender ao prazo de antecedência mínimo para produção previsto no contrato comercial. De acordo Isatto, Azambuja e Formoso

(2015), o prazo de antecedência usual é de sete dias úteis antes da data de entrega desejada.

Por meio desse formulário são relacionados os números dos desenhos que serão utilizados como referência para a produção, incluindo revisões, bem como a estimativa de massa de aço a ser produzido.

Ressalta-se que as definições contidas no PDA podem ser produzidas parcialmente ou em sua totalidade devendo-se, no caso de produção parcial, indicar quais as peças de armadura ou elementos estruturais devem ser produzidos e quais devem ser desconsiderados.

Também podem ser incluídas no pedido eventuais peças complementares que não estejam detalhadas no PDA, como espaçadores destinados ao posicionamento da armadura ou arame a ser utilizado para montagem das peças. A Figura 6 apresenta um exemplo de formulário utilizado para formalização do pedido de compra de aço cortado e dobrado.

Figura 6 – Exemplo de formulário para pedido de corte e dobra

		Nº Contrato	Cliente	Nº Pedido	Torre (Bloco)	Recebe carreta?	Data Desejada	Página
			Obra					1 - 1

Favor preencher todos os campos acima

Número do Desenho	Revisão	Pavimento	Desenho completo	Quantas Vezes	Detalhar os elementos estruturais a serem produzidos (Ex.: Lajes, Vigas, Pilares, Blocos, etc...)

Observações: Em caso de dúvidas, entre em contato com seu Vendedor ou Assistente Técnico

SOLICITAÇÃO DE PEÇAS QUE NÃO ESTÃO DETALHADAS EM PROJETO						
Tipo da Peça	Tipo de Aço e Bitola	Medidas (cm)			Quantidade Peças	Peso (kg)
		a	b	c		
Ferro L	GG 50 - 12,5	80	20		10	10

ARAME RECOZIDO		
Tipo	Peso (Kg)	%

Nome do Solicitante

Telefone/E-mail

Fonte: imagem cedida pela empresa Gerdau

Com base nas informações fornecidas pela construtora, a empresa responsável pelo serviço de corte e dobra efetua a análise do projeto e programação dos pedidos e, após o esclarecimento de eventuais dúvidas ou divergências junto ao projetista e a construtora, inicia efetivamente as atividades necessárias à produção (MARDER; FORMOSO, 2004).

Previamente a produção são realizadas as atividades de planilhamento⁷, planejamento e programação de produção e então inicia-se o processamento (corte e dobra) dos vergalhões de aço com emprego de equipamentos industriais. Este processo finaliza-se com a expedição e entrega do aço cortado e dobrado no canteiro de obras da construtora, conforme planejamento pré-estabelecido, onde serão estocados até o início do estágio de armação.

A Figura 7 ilustra, esquematicamente, a interação entre a construtora e a fornecedora de aço pré-cortado e pré-dobrado. Buscou-se manter a numeração e a ordem das etapas conforme proposto por Marder e Formoso (2004). As atividades de 11 a 16 repetem-se até o término da execução da estrutura do empreendimento.

Figura 7 – Segundo estágio: Fornecimento de aço pré-processado

Fonte: Elaborado pelo autor

2.3 PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE AÇO CORTADO E DOBRADO

O desenvolvimento de equipamentos automatizados para processamento de vergalhões, controlados numericamente, promoveu consideráveis avanços ao processo industrial de corte e dobra. Desde os primeiros modelos, surgidos na década de 80 (SCHWARZKOPF, 1991 apud NAVON; RUBINOVITZ; COFFLER, 1998),

⁷ A atividade de planilhamento consiste na transcrição das informações contidas no PDA para o programa computacional utilizado pela empresa de corte e dobra na coordenação dos serviços de produção (MARDER; FORMOSO, 2004).

nota-se a constante evolução dos equipamentos e sistemas de automação industrial proporcionada por avanços nas áreas de materiais, eletrônica, tecnologia da informação e comunicação.

O uso de controladores adaptáveis permitiu compensar o efeito *springback*⁸ (DUSTON; BERNOLD, 1993), proporcionando maior precisão dimensional. Posteriormente, o desenvolvimento de vergalhões com geometria uniforme (sem nervuras longitudinais) reduziu problemas causados pelo endireitamento⁹ dos vergalhões fornecidos em rolo.

O emprego de sistemas computacionais no Planejamento e Controle da Produção (PCP) proporcionou maior eficiência ao processo produtivo. Segundo Ribeiro (2013), esses sistemas fornecem relatórios em relação aos desperdícios de fabricação, consumo de materiais e disponibilidade de estoque de matéria prima, além de outras informações que contribuem para maximizar a economia do processo. No Quadro 3 relacionam-se alguns dos principais softwares utilizados pelas centrais de corte e dobra, conforme levantamento realizado pelo autor.

Quadro 3 – Sistemas utilizados na gestão de centrais de corte e dobra

Nome	Desenvolvedor	Origem
aSa Rebar	Applied Systems Associates, Inc. (aSa)	EUA
Arma +	Arma Plus	França
G-Bar	TQS Planear	Brasil
Graphico Pro	Schnell Software	Espanha/Itália/Brasil
LP-System	LENNERTS & PARTNER GmbH	Alemanha
ProFit	Progress Maschinen & Automation AG	Itália
Soulé Software	Soulé Software Corporation	EUA
TID	TID Software	Brasil

Fonte: Levantamento realizado pelo autor

Embora as fábricas especializadas na produção industrial de aço cortado e dobrado façam uso intensivo de equipamentos com alto grau de automação (ARAÚJO, 2005), a quebra no fluxo de informações na interface com os demais

⁸ Efeito provocado pela resposta elástica do aço submetido a deformação mecânica. Em função do alinhamento das nervuras do vergalhão, o controlador do equipamento requer diferentes configurações de torque para compensar a inércia provocada por sua seção transversal.

⁹ Processo de deformação mecânica, no qual os vergalhões fornecidos em rolos adquirem formato retilíneo.

intervenientes provoca, segundo Navon, Rubinovitz e Coffler (1998), a existência de "ilhas de automação" ligadas por transferência manual de dados.

Os dados necessários à produção, contidos no PDA e na ordem de serviço entregue pela construtora, mantiveram-se baseados em documentos impressos embora sejam desenvolvidos com o emprego de ferramentas digitais. Estes documentos precisam ser transcritos pelo fabricante antes do início da produção por meio de um processo manual denominado "planilhamento".

Nessa etapa são inseridos no software utilizado pela empresa beneficiadora de aço, informações sobre a obra, cliente, número e revisão do desenho de referência (PDA), identificação dos elementos estruturais, posição, diâmetro, formato de dobra e quantidade de peças (CARLOTT, 2012), além de outras informações necessárias à produção. A Figura 8 apresenta um exemplo do resultado obtido na etapa de planilhamento.

Figura 8 – Exemplo de planilhamento efetuado pela empresa de corte e dobra

Elemento estrutural: 1 x P17							
1.0	20	20,0	CA50	4,48	89,60	220,95	
2.0	22	5,0	CA60	2,08	45,76	7,05	
3.0	44	5,0	CA60	0,35	15,40	2,37	
230,37							

Fonte: Adaptado de Carlott (2012)

2.3.1 Equipamentos para produção

Navon, Rubinovitz e Coffler (1998) propuseram três categorias para classificação dos equipamentos automatizados de processamento de vergalhões, determinados em função do sistema de fornecimento, cabeças de dobra, diâmetro do vergalhões e dimensão do formato a ser produzido.

Segundo esses autores, os equipamentos do tipo "A" (Figura 9) e "B" (Figura 10) operam com vergalhões de até 16mm, fornecidos por meio de bobinas. Realizam automaticamente o endireitamento e o processo de dobra e corte do formato do vergalhão, sendo que os equipamentos do tipo "B" possuem duas cabeças de dobra.

Equipamentos tipo “C” (Figura 11) operam com vergalhões discretos de diâmetro superior a 16mm, alimentados manualmente e previamente cortados, realizando apenas o processo de dobra por meio de duas cabeças de dobras.

Figura 9 – Exemplo de equipamento tipo A

Fonte: (SCHNELL, 2018)

Figura 10 – Exemplo de equipamento tipo B

Fonte: (MEP, 2018)

Figura 11 – Exemplo de equipamento tipo C

Fonte: (MEP, 2018)

Embora ainda seja uma classificação, em geral, válida, a evolução tecnológica dos equipamentos e materiais promoveram algumas alterações aos limites propostos pelos autores supracitados. Atualmente encontram-se disponíveis vergalhões com diâmetro nominal de até 25mm fornecidos em rolos, equipamentos que possibilitam o processamento de feixes de vergalhões e sistemas automatizados para fornecimento de barras pré-cortadas.

O Quadro 4 apresenta alguns dos principais fabricantes nacionais e internacionais de equipamentos automatizados para processamento de vergalhões, conforme levantamento realizado pelo autor.

Quadro 4 – Fabricantes de equipamentos para processamento de vergalhões

Fabricante	Origem	Fabricante	Origem
Schnell	Itália/Brasil	Oscam	Itália
MEP	Itália	Eurobend	Alemanha
KBR	EUA	TJK	China
Progress	Itália	EVG	Áustria
Pedax	Alemanha	Dharma	Brasil

Fonte: Levantamento realizado pelo autor

A interface com o equipamento de corte e dobra ocorre por meio de um terminal de Manufatura Assistida por Computador (*Computer Aided Manufacturing – CAM*), acoplado ao equipamento (Figura 12), no qual as informações originadas do planejamento são inseridas manualmente ou em formato digital com o emprego de leitor de código de barras acoplado ao terminal CAM (Figura 13), dispositivo USB ou rede de dados integrada.

Figura 12 – Terminal CAM para controle de equipamento de corte e dobra

Fonte: Elaborado pelo autor com base no catálogo de equipamentos MEP (MEP, 2018)

Figura 13 – Interface digital com o uso de leitores de código de barras

Fonte: (SCHNELL, 2018)

2.3.2 Interface digital projeto-produção

Encontram-se disponíveis no mercado alguns padrões desenvolvidos por associações, fabricantes de equipamentos ou desenvolvedores de sistemas de gestão de produção que possibilitam a transferência dos dados contidos no PDA, em formato digital, reduzindo a necessidade de intervenção manual para transcrição das informações do projeto.

Embora a interface CAD-CAM esteja em uso há vários anos, sendo prática comum em alguns países, a maioria dos padrões e formatos de arquivo utilizados foram desenvolvidos no contexto CAD, focado em desenhos 2D baseados em padrões típicos de dobra¹⁰ (ARAM; EASTMAN; SACKS, 2013).

Essa integração mostra-se eficaz, especialmente em casos em que o detalhamento da armadura e a fabricação estão sob controle de um agente único, como comumente ocorre no mercado norte-americano. Não obstante, a interface digital com base nos padrões vigentes demanda sinergia quando empregado em configurações de cadeias produtivas em que a interface entre o projetista e o

¹⁰ Representam, de forma paramétrica e padronizada, padrões típicos de formato de dobra (*ShapeCode*) de acordo com normas técnicas específicas. Também são empregados em alguns países para a interface com softwares de planilhamento por meio de arquivos tabulares ou planilhas eletrônicas contendo os parâmetros e codificação previstos para cada *ShapeCode*.

fabricante procede por intermédio do contratante, como adotado no mercado brasileiro.

O Quadro 5 relaciona alguns dos principais padrões e formatos de arquivo empregados na interface digital com equipamentos de corte e dobra e sistemas de gestão industrial.

Quadro 5 – Padrões utilizados para interface digital no setor industrial de corte e dobra

Nome	Desenvolvedor	Formato
BVBS	BundesVereinigung der BauSoftwarehäuser E.V.	.abs
IGV ¹¹	TQS Planear	.plt
ProgressXML	Progress Maschinen & Automation AG.	.pxml
Unitechnik 7.0	Unitechnik Systems GmbH	.uxml
Rebar Data Exchange	Applied Systems Associates, Inc. (aSa)	.rdx
aSa Rebar file	Applied Systems Associates, Inc. (aSa)	.tek

Fonte: Levantamento realizado pelo autor

Entre os padrões disponíveis, o BVBS representa atualmente o principal formato utilizado pelo setor de aço cortado e dobrado (ARAM; EASTMAN; SACKS, 2013), sobretudo para produtos destinados às estruturas de concreto armado moldadas *in loco*. No contexto nacional, destaca-se também o emprego do software IGV.

2.3.2.1 Padrão BVBS

Desenvolvido sob coordenação¹² da federação alemã de softwares para construção (*BundesVereinigung der BauSoftwarehäuser*), o padrão **BVBS** estabelece diretrizes para transferência digital dos dados necessários à produção de componentes de armaduras. Tem por objetivo permitir ao fabricante o reuso das informações do projeto (especificação do produto, definida pelo projetista no PDA) de modo a reduzir a necessidade de intervenção manual para a transcrição das informações (BUNDESVEREINIGUNG DER BAUSOFTWAREHÄUSER, 2000).

A primeira versão do guia contendo as diretrizes do BVBS foi publicada em 1995 e encontra-se atualmente em sua segunda versão, lançada em 2000. Esse documento

¹¹ O software IGV (Interpretador, Gerenciador, Visualizador), apesar de não ser um formato de arquivo, permite a importação digital das informações contidas no PDA elaborado com o aplicativo CAD/TQS.

¹² O padrão BVBS foi desenvolvido em consenso com fabricantes de equipamentos de corte e dobra, empresas beneficiadoras de aço, instituições acadêmicas e produtores de aço.

especifica a estrutura de dados e o formato de arquivo a ser exportado pelo projetista, a partir da ferramenta CAD empregada no desenvolvimento do PDA.

Os dados contidos nos arquivos BVBS podem ser utilizados pelo fabricante, diretamente em equipamentos de corte e dobra controlados numericamente (CNC) ou serem importados por sistemas de gestão de produção industrial.

Cada linha do arquivo BVBS representa um determinado formato de dobra assim como a quantidade de peças a ser produzida. A estrutura de dados é composta por cadeia de caracteres (*string*), divididas em blocos de informações e codificadas no formato ASCII. Cada bloco inicia-se com um código de identificação precedido pelo caractere delimitador “@”. A Figura 14 apresenta a visão geral da estrutura de dados requerida pelo padrão BVBS para a descrição de um formato de dobra bidimensional.

Figura 14 – Estrutura de dados do padrão BVBS

Fonte: Elaborado pelo autor com base no padrão BVBS (BVBS, 2000)

O primeiro bloco contém um código de identificação (*Own recognition code*) que permite ao equipamento checar automaticamente se possui capacidade para produzir um determinado tipo de componente de armadura¹³.

O segundo bloco, denominado “*Header block*” (cabeçalho) e identificado pelo caractere “H”, contém informações necessárias à identificação do PDA, propriedades do vergalhão e quantitativos. No Quadro 6 encontram-se relacionados os atributos previstos para o bloco de cabeçalho do BVBS, bem como respectivos códigos de identificação e unidades aplicáveis.

¹³ Embora o padrão BVBS também seja aplicável à transcrição de componentes de armadura com formatos em espiral (BFWE), treliças (BFGT) e telas soldadas (BFMA), limitou-se nesse trabalho em analisá-lo quanto a especificação de formato de dobra poligonais (bidimensionais e tridimensionais).

Quadro 6 – Atributos requeridos pelo bloco cabeçalho do padrão BVBS

Atributo	Descrição	unidade
j	número do projeto (opcional)	—
r	número do desenho de referência	—
i	identificação de revisão do desenho	—
p	identificação (nº da posição) do vergalhão	—
l	comprimento total do vergalhão	milímetros
n	quantidade a ser produzida	—
e	massa unitária do vergalhão	quilogramas
d	diâmetro nominal do vergalhão	milímetros
g	categoria do aço (<i>steel grade</i>)	—
s	diâmetro do pino de dobra	milímetros
t	armadura de comprimento variável	milímetros

Fonte: (BVBS, 2000, tradução nossa)

O terceiro bloco, identificado pelo caractere “G”, destina-se a descrição da geometria do formato a ser produzido. Formatos bidimensionais (BF2D) são descritos por meio de coordenadas polares. Cada segmento deve possuir o comprimento de suas dimensões externas expresso em milímetros (atributo “l”) seguido pelo ângulo em relação ao próximo segmento expresso em graus (atributo “w”). O padrão BVBS não prevê restrição quanto ao número de segmentos e dobras, sendo os mesmos descritos sequencialmente conforme atributos supracitados.

No caso de formatos de dobra tridimensionais (BF3D), os segmentos devem ser descritos por meio de coordenadas cartesianas (X,Y,Z), expressas em milímetros.

Em ambos os casos, a instrução geométrica do formato de dobra finaliza-se por meio do caractere delimitador “@” sucedido pelo código de identificação do bloco de checagem (“C”) o qual possibilita verificar a integridade dos dados contidos em cada linha de instrução BVBS, por meio do somatório de caracteres (*checksum*), e identificar eventuais perdas de dados que possam ocorrer durante sua transmissão.

A Figura 15 apresenta um exemplo de codificação para uma armadura bidimensional conforme especificação BVBS. Esses dados podem ser transmitidos por meio de rede integrada ou inseridos por meio de dispositivos USB diretamente no terminal do equipamento de corte e dobra. Também podem ser utilizados para geração de códigos de barras que podem ser impressos e posteriormente lidos mediante o emprego de leitores acoplados ao terminal CAM do equipamento, sendo esse método largamente adotado no mercado nacional.

Figura 15 – Exemplo da codificação BVBS para um formato BF2D

The header block therefore reads:

BF2D@HjTestPDF@r417@ia@p1@l1000@n10@e0.888@d12@g500S@s48@v@
(59 characters)

Example 1:

007

600

The geometry block reads

G1400@w90@l600@w0@

The complete string therefore reads

BF2D@HjTestPDF@r417@ia@p1@l1000@n10@e0.888@d12@g500S@s48@v@
G1400@w90@l600@w0@
C88@CRLF
(83 characters)

Fonte: adaptado de BVBS (BVBS, 2000)

A Figura 16 representa o fluxo de dados proposto pelo padrão BVBS para interface digital projeto-produção no contexto da cadeia produtiva brasileira. Cabe ao projetista fornecer juntamente com o PDA os arquivos BVBS à construtora, a qual deverá encaminhá-los para a prestadora de serviço de corte e dobra em conjunto com os pedidos.

Figura 16 – Interface digital projeto-produção com o emprego do padrão BVBS

Fonte: Elaborado pelo autor com base no padrão BVBS

2.3.2.2 GBAR IGV

Desenvolvido pela empresa TQS-Planear, o software interpretador de projetos estruturais IGV (Interpretador, Gerenciador, Visualizador), possibilita a transcrição digital das informações contidas em projetos de detalhamento de armadura elaborados com uso do modelador estrutural integrado CAD/TQS, software largamente utilizado pelo mercado brasileiro para análise e detalhamento de projetos estruturais, sobretudo no segmento de edificações.

As informações referentes a armadura (dimensões, posição, diâmetro e quantidade), localização e identificação do elemento estrutural são transpostas por meio do arquivo de plotagem PLT gerado no sistema CAD/TQS, podendo ser

importadas pelo sistema de Gerenciamento da Produção de Estruturas (GerPrE) ou pelo software de gerenciamento de produção de centrais de aço cortado e dobrado Gbar, desenvolvido por essa mesma empresa.

Figura 17 – Interface digital projeto-produção com o software GBAR IGV

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de informações fornecidas pelo fabricante

Este aplicativo permite a visualização gráfica do elemento estrutural e da armadura a ele associada, possibilitando a validação e eventual correção de cada posição por parte do usuário, assim como a emissão de relatórios qualitativos sobre taxas de aço e a composição e exportação de lotes de produção.

Figura 18 – Tela de importação do software Gbar IGV

Fonte: (BELK, 2009)

3 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

A Modelagem da Informação da Construção (BIM) é um **processo** focado no desenvolvimento, uso e intercâmbio de modelos de informação em formato digital (COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM, 2011) no qual a tecnologia da informação e comunicação é empregada na criação de modelos virtuais que representam as características físicas e funcionais dos empreendimentos (NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, 2015), os **modelos BIM**.

Segundo Underwood e Isikdag (2010), os modelos BIM são por essência orientados a objetos, compostos por dados ricos e detalhados, com semântica e caracterizados pela representação tridimensional, relação espacial hierárquica entre seus elementos construtivos e suporte à geração de vistas derivadas das informações do modelo automaticamente, de acordo com a necessidade do usuário.

Baseiam-se no emprego de componentes construtivos (objetos) representados em formato digital. Além de conterem dados que descrevem as características e comportamento do componente real, esses objetos são definidos por meio de regras paramétricas que possibilitam manipulá-los de forma inteligente (EASTMAN et al., 2011).

Em contraste ao processo tradicionalmente empregados na indústria AECO, baseado em desenhos bidimensionais e documentos impressos, o processo BIM fomenta um novo fluxo de trabalho, integrado e colaborativo. Seu uso promove a integração entre os diversos agentes envolvidos ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos e fornece uma base de dados relevante à tomada de decisões que, quando apropriadamente utilizados, podem contribuir para obtenção de empreendimento mais econômicos e com maior qualidade.

A Figura 19 ilustra a interação entre os agentes da indústria AECO no contexto do processo BIM. O modelo BIM representa uma base de informações, comum e compartilhada, que evolui gradualmente ao longo do ciclo de vida do empreendimento. Suas informações são complementadas progressivamente pelos diversos intervenientes e permitindo o reuso de dados ao longo do processo.

Figura 19 – Interação entre agentes da indústria AECO no contexto BIM

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao longo do ciclo de vida de um empreendimento de construção civil, atuam diversos agentes, cada um com objetivos e necessidades específicas em relação as informações contidas no modelo. Desta forma, torna-se fundamental a clara definição de qual o propósito de uso do modelo (caso de uso BIM) para direcionar os esforços e facilitar a obtenção dos resultados esperados.

Cada caso de uso BIM representa uma estratégia para aplicação do processo BIM ao longo do ciclo de vida de um empreendimento de modo a atingir um ou mais objetivos específicos (NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, 2015).

Deve-se, no entanto, prever a interdependência associadas ao caso de uso BIM pretendido. No caso de modelos destinados a fabricação digital torna-se pré-requisito o uso do BIM na elaboração do projeto autoral e coordenação espacial (COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM, 2013).

3.1 O USO DO BIM NA FABRICAÇÃO DIGITAL

Fabricação digital é o processo que utiliza a informação digital (no presente contexto, contida no modelo BIM) com o objetivo de facilitar a fabricação ou montagem

de produtos de construção com o mínimo de desperdício (COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM, 2011).

Visa promover o reuso das informações geradas nas fases preliminares à fabricação, de modo a reduzir o esforço e intervenção manual assim como eventuais falhas relacionadas na transcrição dos dados necessários à produção industrial por meio de equipamentos de controle numérico computadorizado (CNC).

O uso da fabricação digital, sobretudo na produção de produtos feitos sob encomenda, é apontado como um dos maiores beneficiários do processo BIM (EASTMAN et al., 2011). Contudo, pesquisas demonstram tratar-se de um uso BIM com potencial a ser melhor explorado.

Os resultados apresentados por Kreider, Messner e Dubler (2010) demonstraram que, segundo a percepção dos entrevistados, o uso da fabricação digital possuía a maior taxa de subutilização entre os vinte casos de usos BIM analisados. Segundo pesquisa realizada no mercado norte-americano pela McGraw Hill Construction (2009), 77% dos empreiteiros previam que a pré-fabricação baseada no modelo BIM seria o uso com maiores benefícios em 5 anos.

Entre os setores relacionados ao domínio estrutural, onde a fabricação digital encontra-se consolidada, destaca-se o segmento de estruturas metálicas. Pode-se relacionar este fato à configuração adotada em sua cadeia produtiva, na qual o detalhamento do projeto, ou sua supervisão, geralmente concentram-se no fabricante, assim como a maturidade dos padrões adotados para a interoperabilidade entre os agentes desse setor, os formatos CIS/2¹⁴, SDNF e DSTV¹⁵.

Não obstante, mesmo setores onde o uso da fabricação digital esteja consolidado, como o caso de estruturas metálicas, demonstram esforços para adoção do padrão comum e não proprietário para interoperabilidade.

Iniciativas promovidas pelo AISC (2011) expõem a estratégia para a adoção do IFC em substituição aos padrões vigentes como forma de prover maior interoperabilidade com os demais agentes da indústria AECO (MOOR; FAULKNER, 2012) e reduzir os problemas na gestão de arquivos gerados individualmente para cada elemento estrutural.

---

¹⁴ *CIMsteel Integration Standard / version 2 (CIS/2)* – Padrão adotado internacionalmente pela indústria de estruturas metálicas para interoperabilidade entre agentes de sua cadeia produtiva.

¹⁵ DSTV - Padrão internacionalmente adotado para interface com equipamento de controle numérico (NC), desenvolvido pela associação alemã de construção metálica (*Deutsche Stahlbau-Verband*)

3.2 INTEROPERABILIDADE NO CONTEXTO DO PROCESSO BIM

“A AECO é composta por indústrias intensivas em informação e depende cada vez mais da eficiência da tecnologia de informação. Diversas ferramentas computacionais são usadas no apoio a quase todas as atividades de AECO [...] No entanto, a informação é passada de uma ferramenta para outra por meio da produção de documentos impressos ou eletrônicos os quais só podem ser interpretados por pessoas, que devem inserir as informações relevantes na próxima ferramenta computacional. Essa reintrepretação e entrada manual de dados é uma atividade que não agrega valor, muitas vezes pode introduzir erros e inibe um melhor uso das ferramentas computacionais. (FROESE, 2003, p. 231, tradução nossa)

Froese (2003) destaca que, embora o desenvolvimento de ferramentas computacionais tenha alterado drasticamente as práticas adotadas pela indústria da construção civil, o processo de comunicação entre seus intervenientes manteve-se semelhante à abordagem empregada pela geração anterior, focada em documentos baseados em papel. Apesar dessa análise ter sido feita a quase 15 anos, época em que tanto a abordagem do processo BIM como um novo paradigma para indústria AECO quanto a adoção de um padrão neutro para interoperabilidade começavam a se estabelecer, nota-se que alguns problemas citados permanecem vigentes.

A falta de interoperabilidade entre sistemas de TIC representa um gargalo para a colaboração e cooperação entre empresas (KOSANKE, 2006), sobretudo em uma indústria diversificada e multidisciplinar como a indústria da construção civil.

Sob o ponto de vista da TIC, pode-se definir interoperabilidade como o “grau em que dois ou mais sistemas, produtos ou componentes podem trocar informações e usar as informações que foram trocadas” (ISO/IEC/IEEE 24765:2017). Envolve o mapeamento entre as informações definidas em um aplicativo e as requeridas por outra aplicação, de modo consistente (EASTMAN et al., 2011).

Embora a escolha de um modelo de dados público consistente forneça um meio para troca de dados entre distintas aplicações, sua adoção não resolve, isoladamente, o segundo requisito necessário aos sistemas interoperáveis, o uso das informações trocadas. Pode-se relacionar este fato a redundância inerente a riqueza dos modelos de dados de produto exposta por Eastman et al. (2011) ao analisar o padrão *Industry Foundation Classes* (IFC).

De acordo com Nederveen, Beheshti e Gielingh (2010), a adoção de um padrão neutro tem por princípio reduzir o número de interfaces a um “modelo central”¹⁶ (Figura 20a), ao invés de ter que se desenvolver “interfaces individuais”¹⁷ entre aplicativos (Figura 20b). Não obstante, nota-se que um modelo de dados único, que permita abranger os mais diversos estágios e especialidades da indústria da construção civil, acaba por ser extenso e, segundo Nederveen, Beheshti e Gielingh (2010), excede os limites tratados por cada aplicativo individual.

Figura 20 – Modelos de abordagem para interoperabilidade

A: interface direta

B – Modelo central

Fonte: (NEDERVEEN; BEHESHTI; GIELINGH, 2010)

Segundo Venugopal, Eastman e Teizer (2015), o esquema IFC não possui clareza semântica para o mapeamento de entidades e relacionamentos, o que pode resultar em múltiplas estruturas de dados para representar a mesma informação. Duas ferramentas podem adotar distintas abordagens para descrever o mesmo objeto que será exportado ou importado (EASTMAN et al., 2011).

Em última instância, o que será implementado é sempre um subconjunto do esquema de dados global e, conseqüentemente, a interoperabilidade converge para a questão se este subconjunto é adequado para a comunicação das informações necessárias (NEDERVEEN; BEHESHTI; GIELINGH, 2010). Nesse contexto torna-se necessária a existência de métodos que permitam criar modelos específicos, que satisfaçam as necessidades particulares a um determinado negócio da indústria AECO.

¹⁶ Segundo Smith e Tardif (2009), o conceito do modelo central não quer dizer que todos os dados estejam contidos em um modelo de construção único, mas que todos os intervenientes trocarão informações por intermédio de um padrão único de troca de dados, ao longo do ciclo de vida do empreendimento.

¹⁷ A interface direta baseia-se no mapeamento de dados entre dois aplicativos específicos, em geral, via Interface de Programação de Aplicação (*Application Program Interface* – API). Limita-se à porção de dados necessários a satisfazer os objetivos da troca, definidos com base em acordos entre duas organizações ou divisões de uma mesma empresa, assim como as funções suportadas por esses dois aplicativos (EASTMAN et al., 2011).

Eastman et al. (2011) destacam que, embora a interoperabilidade reduza, no mínimo, a necessidade de se recriar dados já gerados em outro aplicativo, seu principal benefício está na possibilidade de aprimorar processos e eliminar etapas redundantes. Para esses autores, a questão da interoperabilidade passou da troca de dados entre duas ferramentas computacionais para o suporte a casos de uso específicos, definidos por seu fluxo de trabalho.

Berard e Karlshoej (2012) consideram que o foco da interoperabilidade não será o desenvolvimento de sistemas de TIC, mas estará em ajustar a troca de informações de modo a atender às necessidades de seus intervenientes.

Ao longo de 20 anos de evolução, desde o lançamento em 1997 da primeira versão do esquema IFC, esses conceitos foram gradualmente incorporados ao modelo de interoperabilidade da *buildingSMART*¹⁸, organização responsável pelo desenvolvimento e manutenção do IFC.

O modelo vigente, adotado pela *buildingSMART*, fundamenta-se em três pilares inter-relacionados (modelo de dados, processos e termos), definidos por normativas internacionais, conforme apresentado na Figura 21:

- um modelo conceitual de dados (ISO 16739);
- um método para definição dos requisitos de troca de informações e subconjunto de dados associado a um processo da indústria AECO (ISO 29481);
- um dicionário de termos às propriedades definidas no esquema IFC (ISO 12006-3).

Figura 21 – Pilares para a interoperabilidade

Fonte: (BUILDINGSMART, 2016)

¹⁸ *buildingSMART International* (anteriormente denominada *International Alliance for Interoperability – IAI*) é uma associação internacional sem fins lucrativos que visa fomentar o compartilhamento e comunicação de informações na indústria AECO por meio de padrões abertos e não-proprietários. Tem por missão o desenvolvimento, difusão e manutenção de padrões públicos e internacionais para a interoperabilidade por meio do processo BIM (BUILDINGSMART INTERNATIONAL, 2017).

3.3 ISO 16739: INDUSTRY FOUNDATION CLASSES

Segundo Eastman et al. (2011), o *Industry Foundation Classes* (IFC) é um modelo de dados de produto originado por iniciativa da indústria AECO. Em contraste a outras iniciativas que focavam o intercâmbio de dados em domínios específicos, o IFC foi concebido como um modelo conceitual (*Framework Model*), com o objetivo de suportar a troca de dados durante todo o ciclo de vida da construção civil.

Foi desenvolvido com o intuito de definir um conjunto extensível e consistente de dados que representam a informação da construção, e viabilizar a troca de dados entre software aplicados à indústria AECO (EASTMAN et al., 2011). Segundo Lee, Eastman e Solihin (2016), seu objetivo é permitir a definição explícita e semântica dos dados da construção de modo a apoiar a sua interoperabilidade.

Embora tenha por origem a iniciativa privada norte-americana, o IFC tornou-se uma iniciativa internacional (mantida pela *buildingSMART*) e desde 2005 reconhecido como uma norma internacional junto a *International Organization for Standardization* (ISO), a ISO 16739. A Figura 22 apresenta a evolução histórica do esquema IFC. Sua história encontra-se descrita em detalhes por Laakso e Kiviniemi (2012).

Figura 22 – Evolução história do esquema de dados IFC

Fonte: adaptado de buildingSMART (2016)

O IFC é definido segundo a ISO como um padrão internacional aberto para troca e compartilhamento de dados de modelos de informação da construção entre as ferramentas computacionais utilizadas pelos diversos agentes que atuam no setor da construção e gerenciamento de facilidades (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2017).

Sua especificação contempla um esquema de dados e um de formato de arquivo a ser empregado para troca de dados (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2013). Assim como destacado por Eastman et al. (2011), o esquema de dados IFC, que define o significado da informação trocada, é dissociado da linguagem¹⁹ que formata o arquivo de trocas e estabelece o esquema, o ISO-STEP EXPRESS²⁰ (o esquema também pode ser mapeado na linguagem XML *Schema Definition* – XSD²¹).

A norma ISO 10303-21 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2002) define o mecanismo de codificação para representar os dados do produto em conformidade com o esquema em EXPRESS, criando assim o STEP-File.

Segundo Eastman et al. (2011), a complexidade e a extensão do esquema IFC reflete a riqueza semântica da indústria AECO. Sua versão atual, IFC4 *Addendum 2*²² (BUILDINGSMART, 2016) contém: 776 entidades, 130 tipos definidos, 207 tipos de enumeradores, 60 tipos de seleção, 47 funções, 2 regras, 413 conjuntos de propriedades, 93 conjuntos de quantidades e 1694 propriedades individuais.

Para Corrêa e Santos (2014), sua abrangência e inerente complexidade o torna difícil de ser plenamente compreendido e manipulado pelos profissionais responsáveis pela modelagem. Deste modo, buscou-se apresentar nas subseções subsequentes uma visão geral sobre o esquema IFC (BUILDINGSMART, 2016) e alguns conceitos previstos por sua especificação.

---

¹⁹ Embora os arquivos IFC possam ser codificados em XML (*Extensible Markup Language*), segundo a buildingSMART-Tech (2018) a opção pelo formato ifcXML resulta em arquivos consideravelmente maiores sendo recomendada a codificação de acordo com ISO 10303-21 (formato .ifc).

²⁰ Linguagem de modelagem de dados definida de acordo com a norma ISO 10303-11 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2004). Segundo Eastman et al. (2011), trata-se do mecanismo central da tecnologia de modelagem de produtos adotada por diversos setores industriais, o padrão ISO-STEP (STandard for the Exchange of Product model).

²¹ Segundo a buildingSMART (2016), a definição do esquema XML é gerada a partir do esquema EXPRESS, de acordo com as regras de mapeamento definidas pela norma ISO 10303-28 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007).

²² Versão que contempla pequenas correções, aprimoramentos e extensão de recursos a uma versão principal do esquema IFC. No caso do IFC4 (ISO 16739:2013), foram publicados dois adendos: IFC4 Addendum 1 (BUILDINGSMART, 2015) e IFC4 Addendum 2 (BUILDINGSMART, 2016).

3.3.1 Esquema de dados IFC

O esquema IFC consiste em definições de objetos²³ e propriedades que podem ser usados para representar empreendimentos de construção civil (EASTMAN et al., 2011). Inclui termos, conceitos e especificação de dados que se originam de disciplinas, negócios e profissões do setor da construção e gerenciamento de facilidade (BUILDINGSMART, 2016).

A arquitetura da informação contida nele baseia-se em quatro camadas conceituais, compostas por conjuntos de esquemas individuais que contém classes de informação definidas por atributos e restrições comuns (denominadas entidades IFC).

No entanto, para a compreensão dos componentes presentes num arquivo IFC, basta entender que (excluindo deste raciocínio as entidades presentes na camada de recursos), a partir de uma entidade central, raiz (**IfcRoot**), dotada de alguns atributos básicos (informações gerais que todas as demais entidades irão herdar), o esquema vai derivando novas entidades, ainda que inicialmente abstratas (que não aparecem nos arquivos), construindo o modelo de informação.

A partir do momento que as informações acrescentadas (atributos, propriedades e relações) vão se distinguindo e passam a caracterizar os componentes semânticos do empreendimento, estas entidades passam a surgir no arquivo IFC.

Em sua camada conceitual mais baixa, denominada **camada de recursos**, encontram-se todos os esquemas individuais que possuem definições de suporte à estrutura de dados do esquema IFC. As entidades contidas nessa camada somente podem ser utilizadas quando declaradas por entidades de camadas superiores e referenciadas, diretamente ou indiretamente, por uma ou mais entidades derivadas da camada núcleo.

Na Figura 23 apresentam-se o conjunto de esquemas individuais previstos pela camada de recurso do esquema IFC e o número de entidades incluídas em cada esquema individual. O conteúdo é geral o suficiente para ser aproveitado pelas entidades do IFC, tendo sido inicialmente estabelecido por modelos de dados de produto de outras indústrias.

---

²³ Um objeto representa qualquer coisa perceptível ou concebível que possua uma existência distinta, não necessariamente material (BUILDINGSMART, 2016)

Figura 23 – Camada de recursos do esquema IFC

Fonte: adaptado de buildingSMART (2016, tradução nossa)

A segunda camada conceitual, **camada núcleo**, define a parte mais abstrata e central do esquema de dados IFC. Fornece conceitos semânticos básicos e genéricos ao modelo (como objetos, propriedades e relacionamento) que serão especializados nas camadas superiores de sua hierarquia.

Além de permitir identificação e rastreabilidade às entidades IFC, essa camada define a estrutura base do esquema. A partir das subcamadas de extensão do núcleo, torna-se possível a definição inicial, ainda que genérica e abstrata, de produtos, processos e entidades de controle usados na indústria AECO, os quais serão tratadas e especializadas nos níveis subsequentes da arquitetura IFC.

Figura 24 – Camada núcleo do esquema IFC

Fonte: adaptado de buildingSMART (2016, tradução nossa)

A **camada de interoperabilidade**, terceira camada conceitual da arquitetura IFC, inclui esquemas de dados destinados a especialização de produtos, processos ou recursos, comuns a diversos segmentos da indústria AECO. Entidades contidas nessa camada podem ser compartilhadas, referenciadas (por não serem mais abstratas no esquema) e especializadas pelas camadas mais altas da hierarquia IFC. Na Figura 25 apresentam-se os esquemas individuais previstos pela camada de interoperabilidade IFC.

Figura 25 – Camada de interoperabilidade do esquema IFC

Fonte: adaptado de buildingSMART (2016, tradução nossa)

Quarta e última camada conceitual da hierarquia IFC, a **camada de domínio**, contém esquemas de dados necessários à especialização final de produto, processos ou recursos específicos de uma determinada especialidade da indústria AECO. Os domínios previstos pelo esquema para esta camada são apresentados na Figura 26.

Figura 26 – Camada de domínio do esquema IFC

Fonte: adaptado de buildingSMART (2016, tradução nossa)

Segundo Laakso e Kiviniemi (2012), a principal regra deste esquema de dados consiste na hierarquia de referência rígida entre as camadas IFC. As entidades da camada de recurso contêm definições básicas, destinadas a descrever os objetos das camadas superiores e podem ser referenciados por todas as demais camadas. A Figura 27 apresenta a relação hierárquica entre as camadas conceituais do IFC.

Figura 27 – Relação hierárquica entre as camadas conceituais do esquema IFC

Fonte: (SOUSA; MARTINS; MONTEIRO, 2011), traduzido de (IAI, 1999)

3.3.2 Estrutura de dados do esquema IFC

Por ser um modelo de dados extensível e orientado a objetos, as entidades IFC podem ser especializadas por subtipagem²⁴ (EASTMAN et al., 2011), partindo-se de seu nível mais abstrato até sua plena caracterização como objeto particular, destinado a um uso específico.

De modo a ilustrar sua estrutura de dados, apresenta-se, como exemplo, a representação de uma estaca no esquema IFC (Figura 28). Embora sua especificação final seja definida em sua camada de domínio e, neste caso, especificamente dentro do domínio de elementos estruturais (**IfcStructuralElementsDomain**), a maioria de suas características são definidas ao nível de seus supertipos abstratos e herdadas pelo processo de especialização.

Figura 28 – Estrutura de dados para representação de uma estaca no IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma estaca²⁵ é por definição um elemento estrutural que, por abstração, também é um tipo de elemento construtivo (portanto, um elemento, uma parte da construção que exerce uma função predominante no empreendimento). Este

²⁴ A subtipagem, segundo Eastman et al. (2011), fornece a definição de uma nova classe de informação a qual herda as propriedades de sua classe “pai” (supertipo) e adiciona propriedades que a diferem tanto de sua classe “pai” quanto de classe semelhantes (classes “irmãs”).

²⁵ Segundo a norma NBR 6122, uma estaca é um “elemento de fundação profunda executado inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de pessoas [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

elemento representa um produto com representação geométrica e localização espacial, ou seja, um “componente para incorporação permanente em uma unidade de construção” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011). Consequente, também é considerado um objeto e, embora relacione-se com outros objetos, possui uma existência distinta.

A entidade **IfcRoot** representa a classe mais abstrata e raiz para todas entidades derivadas da camada de núcleo sendo, portanto, o supertipo comum a todas as entidades IFC com exceção às entidades de suporte pertencentes a camada de recursos. Este nível fornece um identificador único bem como informações (atributos²⁶) necessários à identificação e rastreabilidade das entidades que serão especializadas nas camadas subsequentes da especificação IFC.

Ainda na camada núcleo, as entidades passam por sua primeira especialização. No caso do exemplo proposto, constata-se que se trata de algo que possui um significado semântico e, consequentemente, pertence a **Objectdefinition**.

Embora não possua declaração explícita de atributos, este nível define que esta entidade é um objeto, um “tipo de objeto” que pode ter suas características comuns definidas por outra entidade (objeto-tipo) ou se esta entidade é empregada para definir o contexto de um empreendimento.

Este nível também destina-se a especificar o relacionamento entre entidades, como por exemplo, se tal entidade faz parte ou possui outras partes relacionadas bem como se está associas a outros objetos. Em resumo, nesta camada há a primeira distinção entre objetos, propriedades e relações.

O próximo nível de especialização aplicável ao presente exemplo (**IfcObject**) fornece maiores informações sobre seu significado, ainda que de forma abstrata. Embora já seja um objeto, neste nível determina-se que se trata de um objeto de existência material (como um produto, uma empresa ou um indivíduo) ou refere-se a um objeto não-material (como um processo a ser empregado em uma construção). Também declara-se, neste nível, se o objeto terá suas características

---

²⁶ Um atributo estabelece uma unidade de informação à uma entidade IFC. Pode ser definido pela declaração de um valor específico ou referenciar outra entidade IFC que contenha tais atributos.

A especificação IFC define três tipos de atributos: atributos diretos (valores ou coleção de valores escalares); atributos inversos (obtidos por inferência a outras entidades) e atributos derivados (valores computados de outros atributos segundo expressões definidas no esquema IFC). Tais atributos são denominados *direct attributes*, *inverse attributes* e *derived attributes* na terminologia IFC (BUILDINGSMART, 2016).

comuns a demais objetos semelhantes definidas por um objeto-tipo ou se é um objeto específico.

Apesar de ainda não ser possível identificar o objeto deste exemplo, seu próximo nível de especialização permite defini-lo como um produto (**IfcProduct**) e que, independente de qual seja este produto, o mesmo possui uma representação geométrica (**IfcProduct:Representation**) e uma localização espacial no contexto de um empreendimento (**IfcProduct:ObjectPlacement**). Este nível inclui não apenas produtos físicos como também objetos não-materiais que possuam representação e contexto espacial, como por exemplo, um ambiente ou a representação analítica de um elemento estrutural.

Embora já esteja definido com um produto, somente a partir deste nível o objeto passa a pertencer a uma das camadas de extensão do núcleo IFC (no presente caso, a camada **IfcProductExtension** por tratar-se de um **IfcElement**). Apesar de neste nível ainda ser um elemento abstrato, o mesmo adquire um identificador por meio do atributo **IfcElement:Tag**. Também é definido o seu comportamento em relação aos demais elementos (conexões físicas ou lógicas) inclusive a existência de eventuais furos ou revestimento.

Em seu próximo nível e ainda dentro da camada de extensão do núcleo **IfcProductExtension**, este elemento genérico é então categorizado de acordo com a sua especialidade, no presente caso, como um elemento construtivo (**IfcBuildingElement**). Apesar de não possuir atributos específicos, este nível determina se o elemento construtivo refere-se a um elemento de uso compartilhado por mais de uma disciplina (como o caso de um pilar que possui uso compartilhado pelas disciplinas de estruturas e arquitetura) ou trata-se de um elemento construtivo de uso particular a uma disciplina.

Em função de sua categoria, este elemento construtivo passa por uma nova especialização podendo ser incluído na camada de interoperabilidade IFC (como um pilar, que será incluído ao grupo de elementos construtivos de uso compartilhado **IfcSharedBldgElements**) ou na camada de domínio específico (como uma estaca, que estará contida no domínio de elementos estruturais **IfcStructuralElementsDomain**). Somente quando o objeto adquire o nível de especialização destas camadas torna-se possível sua caracterização.

No caso do presente exemplo (Figura 28), embora quase a totalidade de seus atributos e relacionamentos já estejam especificados por seus supertipos, somente na camada de domínio que este elemento estrutural se torna uma estaca, representada

pela entidade **IfcPile**. Ademais, são definidos nesta camada atributos específicos para sua caracterização final pelos atributos **IfcPile:PredefinedType** (por exemplo, se é uma estaca escavada ou estaca cravada) e **IfcPile:ConstructionType** (estaca de concreto moldado no local, concreto pré-fabricado, em perfil metálico ou uma estaca mista).

Ressalta-se que apesar da entidade adotada neste exemplo obter sua caracterização final apenas em sua camada de domínio, cada nível de especialização resulta em uma nova entidade (subtipo) que carrega por herança as definições de seus supertipos abstratos, ou seja, **IfcPile** é o subtipo comum a todas as entidades expostas neste exemplo e será a única entidade que estará visível em um formato de arquivo IFC.

3.3.3 Relacionamento entre entidades no IFC

Um relacionamento também é tratado no esquema IFC como uma unidade de informação, uma entidade que descreve a interação entre os objetos e propriedades contidas no esquema IFC. Desta maneira, é possível criar diferentes tipos de relação entre as entidades, e dotá-las de atributos.

Embora existam entidades incluídas na camada de recursos IFC, destinadas à representação de relacionamentos, a maneira recomendada pela especificação IFC (BUILDINGSMART, 2016) para a modelagem de relacionamentos entre os objetos baseia-se na “relação objetificada”.

Seu uso possibilita manter os atributos específicos da entidade “relacionamento” diretamente nesta entidade e não ligados ao objeto relacionado, o que possibilita manipular comportamento de cada relação de modo independente (BUILDINGSMART, 2016; FERREIRA, 2005).

Uma relação objetificada pode, de acordo com as definições e regras previstas para cada entidade, ser do tipo “um para um” (1-1) ou de “um para vários” (1-N). Encontram-se previstas na especificação IFC (BUILDINGSMART, 2016), 36 tipos de entidades derivadas de **IfcRelationship**, generalização abstrata e supertipo de todas relações objetificadas no esquema IFC.

O Quadro 7 apresenta, resumidamente, os tipos de relacionamento previstos pelos subtipos de primeiro nível desta entidade.

Quadro 7 – Tipos de relação objetificada previsto pelo esquema IFC

Entidade IFC	Descrição
IfcRelAssigns	Generalização das relações que estabelecem a ligação bidirecional (<i>link</i>) entre objetos e seus subtipos de primeiro nível.
IfcRelAssociates	Generalização de todas as relações de associação a fontes de informações (aprovação, classificação, restrição, documentação, biblioteca e material)
IfcRelConnects	Generalização abstrata de todas as relações de conexão entre objetos
IfcRelDeclares	Supertipo destinado à declaração de objetos ou propriedades a um determinado empreendimento ou biblioteca
IfcRelDecomposes	Generalização abstrata de todas as relações de composição e decomposição entre entidades IFC composta.
IfcRelDefines	Supertipo abstrato de relações de atribuição entre objeto-tipo e ocorrência, propriedades e conjunto de propriedades

Fonte: (BUILDINGSMART, 2016, tradução nossa)

A “objetificação”, segundo Ferreira (2005) transforma um relacionamento em uma classe distinta. Difere-se do conceito de herança entre entidades (relação supertipo-subtipo) usado na especialização de entidades IFC e apresentado na subseção anterior. De modo a ilustrar esta distinção apresenta-se na Figura 29 um exemplo de relação objetificada entre um edifício e o pavimento deste edifício.

Figura 29 – Relacionamento entre classes IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

3.4 ISO 29481-1: INFORMATION DELIVERY MANUAL

Definido pela norma ISO 29481-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016), o método *Information Delivery Manual* (IDM) estabelece

uma forma padronizada para se descrever e documentar as informações necessárias a um caso de uso ou processo da indústria AECO. Destina-se a promover a colaboração digital e facilitar a interoperabilidade entre os softwares usados ao longo do ciclo de vida de um processo AECO específico.

Um IDM é um documento formal que descreve um determinado processo de negócio e fornece especificações detalhadas quanto a troca de informações entre agentes que realizam atividades específicas nesse processo, de modo a garantir que as informações trocadas são precisas e suficientes para a realização de suas atividades (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016).

Sob a óptica da tecnologia da informação, o método IDM pode ser dividido em dois domínios: **técnico** e **não-técnico**.

No domínio **não-técnico**, as informações são tratadas em linguagem natural, compreensíveis por seus usuários finais, e tem como produto a elaboração do **IDM**. Fazem parte desse domínio: autores com conhecimento multidisciplinar (especialistas em ambos os segmentos que será objeto da troca de dados); gerentes que atuem em empresas provedoras de software (responsáveis pela decisão estratégica para a implementação); e usuários finais de softwares AECO (como por exemplo arquitetos, engenheiros, construtores ou fabricantes).

Já no domínio **técnico**, as informações destinam-se ao desenvolvimento de softwares e devem ser interpretáveis por computadores. Atuam nesse domínio autores técnicos, responsáveis pela transcrição dos requisitos do IDM em definições técnicas por meio de documentos denominados *Model View Definition (MVD)*, desenvolvedores de softwares (responsáveis pela implementação das definições do MVD em softwares AECO específicos) e órgão certificadores (responsáveis pela certificação dos softwares AECO que atendam aos requisitos previstos pelo IDM/MVD)

Enquanto o IDM visa capturar os processos e requisitos de troca definidos por usuários de um determinado domínio da indústria AECO, o MVD tem por objetivo mapear os requisitos de troca de dados para um esquema de dados específico²⁷, como o esquema IFC.

---

²⁷ Embora a norma ISO 29481-1 não seja restrita a um esquema de dados específico, seu uso será limitado ao esquema de dados IFC no contexto do presente trabalho.

De acordo com Corrêa e Santos (2014) o MVD foi “concebido como uma parte autocontida do esquema IFC”. A partir do esquema IFC global, destinado a atender aos mais diversos domínios da indústria AECO, define-se por meio do **MVD** um subconjunto de dados necessários ao suporte dos requisitos de troca relacionados por um ou mais IDM (SEE; KARLSHOEJ; DAVIS, 2012), ou seja, permite-se focar apenas às partes relevantes do esquema de dados IFC.

Essa abordagem, segundo Eastman et al. (2011), promove trocas de dados efetivas para usuários de ambas as extremidades. De um lado, o exportador sabe o que é e o que não é necessário e, por outro lado, o receptor sabe claramente o que pode ser esperado e realizado na troca.

Além de fornecer subsídios ao desenvolvimento de ferramentas computacionais que atendam aos requisitos definidos pelo IDM, os MVD também são empregados por ferramentas BIM para filtrar informações aplicáveis a um requisito de troca específico, para fins de validação de dados e certificação de software (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016).

4 MÉTODO IDM / MVD INTEGRADO

Embora o MVD seja preliminar²⁸ ao método IDM, ambos os métodos se mostram complementares e interdependentes. Em 2005, o MVD foi adotado oficialmente pela buildingSMART (BLIS CONSORTIUM, 2012), ano em que se iniciou o desenvolvimento do método IDM e, paralelamente, o aprimoramento do MVD (SEE; KARLSHOEJ; DAVIS, 2012).

Segundo Corrêa e Santos (2014), diversas organizações e grupo de trabalhos têm buscado sistematizar o processo de elaboração do IDM/MVD. Ao longo da última década também foram realizados esforços para o desenvolvimento de IDM/MVD específicos, sobretudo no âmbito da indústria AECO norte-americana.

Entre as iniciativas aplicáveis ao domínio estrutural, destacam-se o desenvolvimento de IDM e MVD para os subsetores de estruturas pré-fabricadas (PCI, 2009), estruturas metálicas (AISC, 2013), estruturas de concreto armado (ACI, 2015) e obras-de-arte especiais (FHWA, 2016). A Figura 30 apresenta a evolução histórica do desenvolvimento IDM/MVD relacionadas às estruturas pelo mercado norte-americano entre 2007 e 2016, segundo levantamento realizado pelo autor.

Figura 30 – Desenvolvimento de IDM/MVD no domínio estrutural pelo mercado norte-americano

Fonte: Elaborado pelo autor

O método adotado pelo mercado norte-americano baseia-se na norma NBIMS-US²⁹ (NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, 2007),

²⁸ O método MVD foi proposto inicialmente em 2000 pelo consórcio *Building Lifecycle Interoperable Software* (BLIS) (SEE; KARLSHOEJ; DAVIS, 2012).

²⁹ A norma norte-americana *National Building Information Model Standard - United States* (NBIMS-US) tem por objetivo prover normativas destinadas a facilitar a gestão do ciclo de vida do ambiente construído suportado pela tecnologia digital. Sua primeira versão foi publicada em 2007, segunda versão foi publicada em 2012, e atualmente encontra-se em sua terceira edição, publicada em 2015.

Para Eastman (2015), embora o processo IDM/MVD seja adequado o mesmo mostra-se lento e oneroso. Segundo o autor são necessários, atualmente, entre 36 e 48 meses para sua conclusão. Eastman também relata a existência de iniciativas que visam reduzir o prazo de desenvolvimento para menos de 1 ano.

Entre as recentes iniciativas, destaca-se a atualização da norma ISO 29481-1 (segunda edição publicada em 2016) onde delimitou-se a aplicação do IDM e do MVD assim como substituiu a necessidade de implementação de “partes funcionais”³¹ no processo IDM. Também se destaca o novo método para desenvolvimento de MVD denominado mvdXML, publicado em 2016 pela buildingSMART. Trata-se de um formato eletrônico para elaboração e documentação do MVD e requisito de troca associado (CHIPMAN; LIEBICH; WEISE, 2016).

Entretanto, tais iniciativas ainda não se encontram incorporadas ao método integrado IDM/MVD proposto por See, Karlshoej e Davis (2012).

Com o objetivo de subsidiar o desenvolvimento IDM/MVD do presente trabalho, apresenta-se a seguir as duas primeira etapas do método integrado IDM/MVD (SEE; KARLSHOEJ; DAVIS, 2012), incluindo as adequações propostas pela ISO 29481-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016) e mvdXML (CHIPMAN; LIEBICH; WEISE, 2016).

Ressalta-se que, embora o método MVD não seja restrito ao esquema de dados IFC, a abordagem proposta neste trabalho limita-se ao uso do método MVD aplicado ao esquema IFC.

4.1 INFORMATION DELIVERY MANUAL – IDM

A primeira fase do processo integrado IDM/MVD (SEE; KARLSHOEJ; DAVIS, 2012), tem por objetivo a definição e documentação do IDM. É composto por três etapas sequenciais, conforme representado na Figura 32.

---

³¹ Uma “parte funcional” (*Functional part*), representa uma unidade de informação (como um objeto ou atributo) dentro de um requisito de troca e vinculada ao esquema de dados adotado. (ISO, 2010).

Figura 32 – Etapas do desenvolvimento de um IDM

Fonte: (SEE; KARLSHOEJ; DAVIS, 2012)

Inicia-se pela formação de um grupo de trabalho junto aos agentes que atuem em um processo específico da indústria AECO e que possam ser beneficiados pela troca de dados com base no padrão IFC. Visa definir e delimitar o escopo que irá nortear o desenvolvimento do IDM e fornecer uma referência para que não se excedam os limites dos trabalhos e recursos planejados (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016).

Nessa etapa preliminar, são identificados quais os intervenientes, os pontos onde ocorrem trocas de informações e qual a finalidade, conteúdo e formatos empregados nessas trocas. Sua abordagem pode envolver a descoberta de um novo processo, a customização das informações de um IDM já definido ou um processo de engenharia reversa em que, embora já existam ferramentas que suportem o uso proposto, os processos não se encontram claramente documentados. Essa etapa também permite avaliar a viabilidade do IDM proposto bem como determinar a sua continuidade.

Com base nas informações definidas na etapa preliminar, procede-se a descrição do “caso de uso” que será objeto do IDM. Representa a primeira etapa do desenvolvimento do IDM.

A segunda etapa consiste na modelagem do fluxo de trabalho adotado ou pretendido para o processo em análise, bem como sua representação formal por meio da notação BPMN³². Embora os processos empregados no PCPA não sejam estritamente padronizados e possuam particularidades em função da complexidade

³² *Business Process Model and Notation*, notação de modelagem de processos de negócio, mantida pela organização *Object Management Group (OMG)* e reconhecida como um padrão internacional ISO pela norma ISO/IEC 19510. Maiores informações encontram-se disponíveis em <http://www.bpmn.org>

do empreendimento, forma contratual ou práticas regionais, essa etapa visa capturar o fluxo de trabalho tipicamente adotado pelo setor, de modo a subsidiar o desenvolvimento do IDM.

Na terceira etapa, cada troca de informação identificada no modelo do fluxo de trabalho (mapa de processo) é descrita em detalhes por meio de termos “não técnicos”, compreensíveis por usuários finais. Com base nos requisitos definidos pelo agente receptor, os dados que devem estar incluídos em cada troca são formalizados em um documento denominado *Exchange Requirement* (ER).

Segundo a norma ISO 29481-1, um ER representa a conexão entre processos e dados. Define o conjunto de dados que deve ser trocado para suportar uma determinada etapa de um processo de negócio específico, além de fornecer subsídios ao desenvolvimento da solução técnica e ferramentas computacionais que irão suportar tais requisitos de troca. Entretanto, Chipman, Liebich e Weise (2016) ressaltam que as definições contidas no ER são independentes da solução técnica.

Cada requisito de troca (ER) contém a especificação explícita e detalhada do conjunto de unidades de informação que deverão ser atendida na troca (mandatórias e opcionais). Ademais, são incluídas informações para identificação, descrição do requisito de troca, diretrizes de uso bem como restrições aplicáveis.

A Figura 33 apresenta o conteúdo a ser incluído em cada requisito de troca de acordo com a norma ISO 29481-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016).

Figura 33 – Conteúdo de um Requisito de troca

Fonte: (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016, tradução nossa)

Uma unidade de informação representa um tipo de informação ou conceito de interesse, como objetos (elementos e componentes construtivos, como por exemplo vigas, pilares, paredes) e seus atributos (propriedades e parâmetros como nome, comprimento, altura).

Os tipos de objetos e propriedades devem ser estruturados de acordo com uma biblioteca de tipos de objeto. Esta biblioteca também define as restrições aplicáveis às unidades de informação (contexto, regras, limites de uso e tipo de dados aceitáveis). No contexto do presente trabalho, as unidades de informação estão definidas de acordo com o esquema IFC.

Por fim, procede o suporte à transferência das informações do IDM à equipe que será responsável pelo desenvolvimento da solução técnica.

4.2 MODEL VIEW DEFINITION – MVD

A segunda fase do processo integrado IDM/MVD consiste na especificação do subconjunto de dados aplicável a um caso de uso específico, ou seja, o desenvolvimento do *Model View Definition* (MVD).

Visa fornecer uma solução técnica, interpretável por computadores, aos requisitos de troca definidos pelos usuários finais e documentados por meio do IDM. Nesta fase também é definido o esquema de dados que será adotado para a especificação da solução técnica (no presente caso ao esquema IFC).

Atualmente, o processo de desenvolvimento do MVD baseia-se no método mvdXML versão 1.1 (CHIPMAN; LIEBICH; WEISE, 2016), formato eletrônico para representação do MVD e dos modelos de requisito de troca associados. (*Exchange Requirement Model* – ERM³³). O método mvdXML fundamenta-se na definição de conceito-modelo reutilizáveis (**mvd:ConceptTemplate**) e conceito específicos (**mvd:Concept**).

Segundo Eastman et al. (2011), os requisitos de troca são inicialmente decompostos em conjuntos modulares de informações com objetivo de se identificar conceitos comuns e compartilhados que possam ser reutilizáveis e evitar redundância para a especificação, implementação e teste das informações a serem mapeados no

---

³³ Um ERM representa a solução técnica para o requisito de troca que será coberto pelo MVD (SEE; KARLSHOEJ; DAVIS, 2012).

esquema IFC. As construções identificadas nessa etapa são denominados **conceito-modelo**, parte fundamental do método MVD.

Um **conceito-modelo** representa um tipo de dado abstrato a partir de sua entidade raiz aplicável e contém definições e atributos necessários a uma determinada unidade funcional (CHIPMAN; LIEBICH; WEISE, 2016). Define os tipos de dados que podem ser utilizados por uma determinada entidade IFC (YANG; EASTMAN, 2015). Entretanto, não são vinculados a um MVD ou entidade IFC específica e podem ser utilizados por todas as entidades que possuam o mesmo supertipo.

Ao adicionar-se atributos e regras³⁴ de uso específicas a um conceito-modelo (reutilizável, porém genérico e abstrato) tem-se um conceito definido (**mvd:Concept**). Um **conceito** é a referência a um conceito-modelo que especifica as restrições aplicáveis a uma determinada unidade funcional. Descreve os atributos, propriedades e relacionamentos necessários para habilitar o uso de uma entidade IFC (**mvd:ConceptRoot**) dentro do contexto de um MVD.

A Figura 34 apresenta um exemplo do conceito-modelo **ObjectTyping**, utilizado para descrever o relacionamento entre um objeto e um objeto-tipo. Na Figura 35 apresenta-se como esse mesmo conceito-modelo é descrito de acordo com o mvdXML.

Embora não esteja definido quais os tipos de objetos serão associados, este conceito-modelo especifica apenas que o relacionamento entre um objeto (subtipos de **IfcObject**) e um objeto-tipo (subtipos de **IfcObject**) deve ser realizado por meio da relação objetificada **IfcRelDefinesByType**, independentemente de quais forem os objeto.

Esta funcionalidade somente será usada por uma entidade IFC específica (por um **mvd:ConceptRoot**), quando adicionada no contexto desta entidade (ou seja, quando se tornar um conceito definido, um **mvd:Concept**) e possuir regras de uso definidas. Usando como exemplo a estaca apresentada na seção 3.3.2 (entidade **IfcPile**) terá como regra que o subtipo aplicável trata-se de um **IfcPileType**.

---

³⁴ Uma regra define quais informações devem ser obrigatoriamente incluídas em um modelo de troca de modo a satisfazer aos requisitos previstos para a exportação ou importação desse modelo.

Pode ser usada para especificar um campo que deve ser preenchido (inclusive qual o valor a ser utilizado) ou para determinar uma restrição de uso, com por exemplo, determinar uma entidade IFC particular a ser empregada em uma relação objetificada.

Regras também podem indicar requisitos de informações opcionais que, embora não sejam obrigatórios, são recomendadas para a respectiva troca.

Figura 34 – Conceito-modelo ObjectTyping

Fonte: (BUILDINGSMART, 2016)

Figura 35 – mvd:ConceptTemplate ObjectTyping

```

<ConceptTemplate    uuid="35a2e10e-20df-40f4-ab2f-dacf0a6744f4"    name="Object
Typing" status="sample" applicableSchema="IFC4" applicableEntity="IfcObject">
<Rules>
  <AttributeRule RuleID="HasType" Description="*" AttributeName="IsTypedBy">
    <EntityRules>
      <EntityRule EntityName="IfcRelDefinesByType">
        <AttributeRules>
          <AttributeRule RuleID="RelatingType" AttributeName="RelatingType">
            <EntityRules>
              <EntityRule EntityName="IfcTypeObject">
                <AttributeRules>
                  <AttributeRule RuleID="TypeName" AttributeName="Name">
                    <EntityRules>
                      <EntityRule EntityName="IfcLabel" />
                    </EntityRules>
                  </AttributeRule>
                  <AttributeRule AttributeName="ApplicableOccurrence" />
                </AttributeRules>
              </EntityRule>
            </EntityRules>
          </AttributeRule>
        </AttributeRules>
      </EntityRule>
    </EntityRules>
  </AttributeRule>
  <AttributeRule AttributeName="PredefinedType" />
</Rules>
</ConceptTemplate>

```

Fonte: (BUILDINGSMART, 2016)

De modo a padronizar e reduzir o esforço para o elaboração e documentação do MVD foi desenvolvido pela buildingSMART a ferramenta IfcDoc (IFC *Documentation Generator*), interface gráfica gratuita destinada a especificação do conteúdo mvdXML, geração automática de diagramas de instanciação das entidades IFC aplicáveis e documentação do MVD em formato HTML. Trata-se da ferramenta utilizada

oficialmente pela buildingSMART para documentação do esquema IFC. (CHIPMAN; LIEBICH; WEISE, 2016).

A especificação do mvdXML por meio da ferramenta ifcDoc tem como ponto de partida a especificação base do esquema IFC, incluindo os conjuntos de conceito-modelo reutilizáveis e definições de uso gerais previstas por esta especificação e contidos nos arquivos de referência (*baseline definition*) disponibilizados pela buildingSMART (BUILDINGSMART TECH, 2018).

Na Figura 36 apresenta-se uma visão geral da interface da ferramenta ifcDoc. As especificações particulares a um MVD específico (como os requisitos de troca, conceitos e entidades aplicáveis, regras de uso) são definidos na seção de escopo (item 1 da figura). As definições dos conjuntos de conceito-modelo reutilizáveis são especificadas na seção “*Fundamental concepts and assumptions*” (item 2 da figura).

Figura 36– Interface da ferramenta IfcDoc

Fonte: Tela extraído da ferramenta IfcDoc

As demais seções contêm a especificação do esquema IFC ou destinam-se a descrição da documentação e inclusão informações de referência. A organização das

seções incluídas no ifcDoc seguem a mesma sequência empregada na documentação do esquema IFC e MVD oficiais disponibilizada³⁵ pela buildingSMART.

Além do uso destinado à documentação MVD e do esquema IFC, o ifcDoc pode ser utilizado para a validação de arquivos IFC, de modo a verificar o atendimento aos requisitos previsto por um modelo de requisito de troca. A Figura 37 ilustra o uso da ferramenta IfcDoc para fins de validação. Para cada entidade IFC contida no modelo submetido à análise é indicado o atendimento ou não às regras previstas no requisito de troca selecionado (codificado nas cor verde ou vermelho, respectivamente).

Figura 37 – Uso da ferramenta IfcDoc para validação de arquivos IFC

Fonte: (LEE, 2015)

Segundo Zolfagharian (2016) e Lee (2015), o uso da ferramenta IfcDoc permite aos provedores de software analisar a precisão de seus tradutores IFC por meio de relatórios em formato nativo e HTML, gerados automaticamente pelo IfcDoc. Para Zolfagharian (2016), essa prática possibilita aos desenvolvedores de software efetuarem eventuais depurações antes de submeter sua ferramenta BIM ao processo de certificação oficial.

³⁵ A especificação oficial do esquema IFC encontra-se disponível <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-view-definition>. Os MVD publicados oficialmente pela buildingSMART estão disponíveis em <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-releases>

5 USO DO IFC NA FABRICAÇÃO DIGITAL DE AÇO CORTADO E DOBRADO

De acordo com Clevenger e Khan (2014), a possibilidade do fabricante extrair as informações necessárias à produção diretamente do modelo BIM agregaria maior eficiência ao processamento industrializado de armaduras. Ademais, Aram, Eastman e Sacks (2013), destacam a importância em se desenvolver novos padrões para interface digital ou aprimorar os padrões existentes de modo a reduzir a necessidade de ferramentas adicionais ou a intervenção manual antes do início da fabricação.

Limitados, no geral, à necessidade de interoperabilidade entre projetista e fabricante, os padrões disponíveis à interface digital entre os agentes da cadeia produtiva do aço cortado e dobrado foram concebidos com o objetivo de possibilitar a exportação dos dados gerados pelo projetista, a partir da ferramenta computacional empregada no PDA, e viabilizar o reuso desses dados por sistemas de gestão de produção industrial e equipamentos CNC usados pelos fabricantes.

Revelam-se eficientes quando empregados em configurações de cadeias produtivas em que o projetista estrutural e o fabricante colaborem diretamente ou quando essas atividades são realizadas ou estão sob a coordenação de um agente único.

No caso de cadeias produtivas em que a interface projeto-produção é realizada por intermédio do agente construtor, como adotado pelo mercado brasileiro, o uso da interface digital com base nos padrões vigentes demanda à empresa construtora uma rigorosa coordenação no controle e repasse das informações do PDA e na inclusão dos dados sob sua responsabilidade, os quais se mantêm externos ao arquivo gerado pelo projetista.

Não obstante, ao atuar como intermediário, cabe ao construtor optar por: fornecer antecipadamente ao projetista as definições quanto ao planejamento executivo e extensão de cada lote de produção de armadura; utilizar a mesma ferramenta de autoria³⁶ utilizada pelo projetista para incluir seus requisitos; utilizar soluções proprietária para gestão de produção de concreto armado³⁷; ou administrar e garantir a atualização de múltiplos documentos com formatos de arquivos distintos,

---

³⁶ Um exemplo de ferramenta de autoria que suporta o desenvolvimento do PDA e a definição de informações relativas ao planejamento é o Tekla Structures (TRIMBLE, 2017).

³⁷ Como por exemplo, o sistema de Gerenciamento da Produção de Estruturas (GerPrE) (TQS-PLANEAR, 2017)

além de especificar os requisitos de fornecimento de acordo com o planejamento executivo da obra.

Deste modo, entende-se que o aprimoramento ou desenvolvimento de novos padrões deve prever a interação com o agente construtor, afim de permitir a inclusão das definições sob sua responsabilidade em formato digital.

Considera-se, neste trabalho, a adoção do padrão IFC para suportar o intercâmbio de dados entre os agentes da CPACD. Esta opção teve como embasamento as seguintes premissas:

- Principal padrão não-proprietário para interoperabilidade na indústria AECO, estabelecido pela norma internacional ISO 16739 (ISO, 2013);
- Suporte do esquema IFC às atividades relacionadas ao planejamento e à solicitação de ordens de compras ou serviços;
- Alinhamento com outros setores da indústria AECO, como: estruturas metálicas (AISC, 2011); concreto pré-fabricado (PCI, 2009); estruturas de concreto armado moldadas *in-loco* (ACI, 2015); Obras de Arte Especiais (FHWA, 2016), Ferroviárias (CHINA RAILWAY BIM ALLIANCE, 2015)
- Evitar limitações ocasionadas pela adoção de um padrão específico a um determinado setor, de modo a prevenir o aparecimento de “silos” como exposto por Moor e Faulkner (2012) ao analisar o caso do setor de estruturas metálicas;
- Potencial suporte do esquema IFC ao BVBS, principal padrão adotado pela indústria de corte e dobra (MACIEL; CORRÊA, 2016), em vista a manter a compatibilidade com os equipamentos e sistemas de gestão de produção em uso pelas centrais de corte e dobra instaladas.

De modo a viabilizar o uso do esquema IFC na fabricação digital de aço cortado e dobrado, foram identificadas **quais** as informações necessárias à interface digital entre os principais intervenientes da CPACD e **quando** ocorrem as trocas de dados entre esses agentes, de acordo com o método IDM.

A partir dos requisitos de informações previstos no IDM, identificou-se como esses dados são descritos no esquema IFC, visando uma solução técnica por meio do método MVD.

Limitou-se, nesse trabalho, às duas primeiras fases do processo integrado IDM/MVD especificado pela buildingSMART (SEE; KARLSHOEJ; DAVIS, 2012)

incluindo as atualizações propostas pela norma ISO 29481-1 (ISO, 2016) e método mvdXML (CHIPMAN; LIEBICH; WEISE, 2016), conforme apresentado na seção 4.

5.1 IDM: REQUISITOS PARA FABRICAÇÃO DIGITAL DE ARMADURAS

5.1.1 Descoberta do processo

A abordagem de desenvolvimento utilizada neste IDM enquadra-se como descoberta de processo (ISO, 2016). Envolve o mapeamento dos processos adotados pela cadeia produtiva³⁸ de um determinado setor e visa determinar qual fluxo de trabalho (atual ou pretendido) será considerado no desenvolvimento do IDM.

Buscou-se, com base na percepção de especialistas que atuam na Cadeia Produtiva do Aço Cortado e Dobrado (CPACD), identificar qual a configuração adotada pelo mercado brasileiro bem como eventuais problemas e possíveis melhorias que possam contribuir para o aumento da eficiência do setor.

A partir da configuração da CPACD e problemas expostos pelos participantes da pesquisa (cenário atual), analisou-se a influência que o processo BIM tende a provocar na interação e fluxo de trabalho empregado no setor de aço cortado e dobrado (cenário pretendido).

5.1.1.1 Cenário atual: Configuração da CPACD adotada pelo mercado brasileiro

Com base na configuração da cadeia do aço cortado e dobrado na cidade de Porto Alegre (MARDER; FORMOSO, 2004), foram realizadas novas entrevistas junto aos agentes participantes dessa cadeia em nível nacional a fim de validar a configuração proposta bem como identificar possíveis alterações.

Participaram da pesquisa, por meio de entrevistas presenciais, empresas sediadas no estado de São Paulo, sendo: representantes das duas maiores siderúrgicas nacionais (responsáveis por 43 unidades produtivas), três prestadoras de serviço de corte e dobra, quatro empresas projetistas, duas construtoras, quatro fabricantes de equipamentos para processamento de vergalhões e dois desenvolvedores de sistemas de gestão de produção industrial.

---

³⁸ Embora semelhante a definição de processo, o conceito de cadeia produtiva representa a configuração adotada por um setor e engloba, segundo (ABIKO et al., 2005), todos os agentes que dela participem, direta ou indiretamente.

Também se visitou as instalações de três prestadora de serviço de corte e dobra de modo a conhecer os processos empregados no processamento de componentes de armadura pré-fabricados. Cada uma das empresas selecionadas atua sob modelo de negócio distinto (proprietário, credenciado e independente).

Paralelamente, buscou-se analisar a percepção dos fabricantes por meio de questionários semiestruturados. Os questionários foram enviados a 46 empresas sediadas em diversas localidades do território nacional e contou com a participação dezoito empresas prestadoras de serviço de corte e dobra.

De acordo com a percepção dos participantes não foram constatadas alterações significativas em relação a configuração proposta pelos autores supracitados.

Na Figura 38 apresenta, esquematicamente, a configuração da cadeia produtiva usualmente adotada pelo mercado brasileiro, baseada na percepção dos participantes da pesquisa.

Figura 38 – Cadeia Produtiva do Aço Cortado e Dobrado

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se a inclusão de um agente específico à contratação do projeto bem como uma nova etapa destinada a transferência do projeto ao agente construtor. Esta divisão se deve ao fato da pesquisa englobar empresas que atuam no segmento de

obras públicas onde, em geral, não se têm a definição do agente construtor durante o estágio de concepção e projeto estrutural.

Outra distinção diz respeito a qual é a última etapa abordada na CPACD. Marder e Formoso (2004) incluem a montagem do aço cortado e dobrado como a última etapa da CPACD. Na presente pesquisa, considera-se o recebimento e estoque do aço pré-processado no canteiro de obras da construtora como a sua etapa final. Esta alteração pode estar relacionada a participação majoritária de empresas prestadoras de serviço de corte e dobra no presente trabalho.

5.1.1.2 Problemas encontrados na CPACD

Ao analisarem a CPACD, Marder e Formoso (2004), Marder et al. (2004) e Isatto, Azambuja e Formoso (2015) identificaram que problemas relacionados sobretudo ao fluxo de informações e qualidade do projeto estrutural afetam sua eficiência. Para Marder et al. (2004), grande parte dos problemas decorrem da falta de integração entre seus intervenientes, requisito fundamental às cadeias de produtos feitos sob encomenda.

Marder e Formoso (2004) constataram diversos problemas decorrentes a indefinições, falta de padronização, atrasos e ao próprio fluxo do processo de projeto. Segundo esses autores, a industrialização do processo de corte e dobra não provocou alterações no processo de projeto de detalhamento de armadura. Destacam também que a inexistência de um canal para troca de informações entre o projetista e o fabricante impede a retroalimentação do processo bem como a identificação de possíveis melhorias.

Na percepção dos participantes do estudo realizado por Isatto, Azambuja e Formoso (2015), a baixa qualidade dos projetos estruturais (carência ou conflito das informações; divergência entre a tabela de resumo e o detalhamento do PDA) e a imprecisão nos pedidos (ausência ou incoerência das informações quanto a quantidade e programação das entregas) são os problemas encontrados com maior frequência.

Para Araújo (2005), o PDA adotado pelo mercado brasileiro exerce a função de projeto de produto e projeto para produção. Não faz distinção entre informações de montagem e fabricação as quais são condensadas em um documento único. Tem por objetivo atender conjuntamente a necessidade de dois agentes distintos e, por ser único, acaba por não atender plenamente suas diferentes destinações.

Ao **construtor**, além de informações para a aquisição do aço pré-processado, o PDA fornece instruções necessárias à montagem final das armaduras. Para o **fornecedor de aço cortado e dobrado**, o PDA representa a única referência disponível para especificação de seu produto, o qual deve prover todos os subsídios necessários ao processamento dos vergalhões.

O método tradicionalmente empregado no detalhamento do PDA baseia-se na representação gráfica bidimensional, elaborados manualmente com o auxílio de ferramentas de Desenho Assistido por Computador (*Computer Aided Design – CAD*) ou com apoio de ferramentas CAD paramétricas, denominados modeladores estruturais integrados, ferramentas computacionais que abrangem todas as etapas do processo de projeto estrutural. Na Figura 39 encontra-se a representação 2D de uma viga comumente adotada pelo setor.

Figura 39 – Representação gráfica 2D típica de uma viga de concreto armado.

Fonte: Desenho elaborado pelo autor

Diversos fatores em relação à limitação da representação 2D são apontados por Ferreira e Santos (2007). Segundo esses autores, uma mesma representação pode ser interpretada de diferentes formas, informações consideradas implícitas pelos projetistas são omitidas, ocorre a simplificação do objeto para sua representação gráfica e a fragmentação das informações em várias vistas ortográficas, nem sempre integrada ao mesmo conjunto de desenhos.

Embora o advento dos modeladores estruturais integrados tenha aumentado a produtividade e reduzido os prazos de desenvolvimento dos projetos, sobretudo no caso de edificações reticuladas de concreto armado, a interface entre os demais agentes manteve-se baseada em documentos 2D.

A consistência e atualização dos documentos, ainda que elaborados com auxílio de ferramentas CAD paramétricas, demandam considerável esforço, sendo comum a ocorrência de divergência entre as informações contidas nos documentos. O repasse e solução de eventuais alterações, inerentes ao processo de projeto, requerem um trabalho eficiente de coordenação, de modo a garantir a solução prévia de problemas de interface antes do início da construção.

Segundo Araújo, Silva e Souza (2004) a falta de padronização quanto a representação gráfica e disposição das informações apresentadas no PDA afetam a interpretação dos projetos e, conseqüentemente, a produtividade para o processamento (corte e dobra) e montagem das armaduras, podendo ocasionar erros durante a execução. Para Araújo (2005), a carência de normativas nacionais específicas à padronização do PDA permite às empresas projetistas adotarem distintas representações e simbologias.

Não obstante são adotadas como referência ao desenvolvimento do PDA os requisitos previstos nas normas NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) e NBR 7191 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1982). A norma NBR 6118 tem como foco o dimensionamento de estruturas de concreto simples, armado e protendido. Entre as especificações relativas ao PDA, esta norma aborda o dimensionamento e detalhamento de ancoragens, emendas, ganchos, espaçamento mínimo entre vergalhões bem como define o diâmetro interno mínimo a ser atendido para a dobra dos vergalhões.

Vigente desde o início da década de 80, a norma ABNT NBR 7191, estabelece condições para elaboração de desenhos técnicos para concreto simples e armado. Abrange tanto os desenhos de armaduras quanto demais desenhos pertencentes ao projeto de estrutura de concreto. Em relação ao PDA são abordadas questões relativas à representação, numeração e formato de tabela de resumo, com foco na representação bidimensional e corte e dobra manual.

Em contraste com a realidade brasileira, alguns países possuem normas técnicas específicas para a padronização das informações e representação do PDA como a norma internacional ISO 3766 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2003), a norma norte-americana ACI 315-99 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1999) e a norma britânica BS 8666 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2005) .

Embora possuam algumas diferenças, consoante às práticas regionais adotadas, nota-se o alinhamento das normativas supracitadas quanto a abordagem baseada em padrões típicos de formatos de dobra e padronização das tabelas de resumo de aço destinadas à interface com o fabricante de aço cortado e dobrado.

Os formatos típicos dos componentes de armadura são representados de forma paramétrica e possuem, além de um parâmetro associado a cada segmento, um código específico denominado “*shape code*”. A Figura 40 exemplifica alguns dos formatos típicos previstos pela norma norte-americana ACI 315-99 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1999). Também são definidos métodos padronizados para indicação de dimensões, ganchos e demais informações necessárias.

Figura 40 – Exemplo de formatos tipo de dobra segundo norma ACI 315-99

Fonte: adaptado da norma ACI 315-99 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1999)

Para a apresentação das tabelas de resumo de aço são previstos modelos padronizados sendo expostos os parâmetros e identificação associados a cada *Shape Code*, de forma tabular ou esquemática, e informações necessárias à identificação do respectivos elementos estruturais e quantitativos de materiais. A Figura 41 apresenta o modelo proposto pela norma britânica BS 8666 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2005) para apresentação de tabela de aço.

Figura 41 – Tabela de resumo de aço segundo norma BS 8666

XY & Partners Project: Physics block, Eastford Client: Eastford University									Job No 1234 By ABC Date 15 04 05 Last revised 16 06 05		Drg No 1046 Sheet No 03 — Revn A Status C		
Member	Bar mark	Type and size	No. of mbrs	No. of bars in each	Total no.	Length of each bar † mm	Shape code	A* mm	B* mm	C* mm	D* mm	EIR* mm	Rev letter
Column 18	7	H25	1	5	5	5625	26	4000	600		100		A

This schedule conforms to BS 8666:2005
* Specified in multiples of 5 mm. † Specified in multiples of 25 mm.
Status: P Preliminary T Tender C Construction

Fonte: adaptado da norma BS 8666 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2005)

Também são abordadas por algumas dessas normas questões referentes a representação e simbologia a ser utilizada para elaboração dos desenhos, detalhamento de armaduras passivas, telas soldadas e armadura ativa, tolerâncias dimensionais, inspeção da produção, limites de dimensões para transporte rodoviário e demais aspectos necessários à elaboração do PDA, de forma a atender as necessidades tanto do construtor quanto das empresas prestadoras de serviço de corte e dobra.

Isatto, Azambuja e Formoso (2015) consideram o fabricante de aço cortado e dobrado o agente mais afetado por eventuais falhas no processo. Caso as informações fornecidas pela construtora por meio do PDA e programação dos pedidos não estejam precisas, são necessários novos contatos com o projetista/construtora para esclarecimento de dúvidas ou ocorre a produção de peças desnecessárias (MARDER et al., 2004). Ademais, não há tempo hábil para que o fabricante faça a reposição das peças caso elas cheguem à obra com dimensões incorretas (CARLOTT, 2012).

Estes fatos corroboram a constatação de Salim Neto (2009) e Casaleiro (2010) de que o fornecimento de armaduras pré-processadas não extinguiu as bancadas de corte e dobra dos canteiros de obra. Algumas construtoras, apesar de adotarem o sistema industrializado, mantêm uma infraestrutura básica para o processamento de vergalhões no canteiro como forma de precaver-se a eventuais falhas.

Dados obtidos ao longo da presente pesquisa ratificam os problemas identificados pelos autores supracitados. Segundo as prestadoras de serviço de corte

e dobra entrevistadas, além da falta de padronização do PDA e o recebimento de informações divergentes ou desatualizadas verifica-se, em alguns projetos, o não atendimento quanto ao raio mínimo de dobras e ganchos especificado pela norma NBR 6118 (ABNT, 2014). Estes problemas demandam novos contatos com o cliente para o esclarecimento de dúvidas antes do início da produção.

Não obstante, o processo de transcrição manual dos dados contidos no PDA (planilhamento) reduz a produtividade do processo. Segundo as empresas que participaram da pesquisa, esta atividade consome entre 15% e 30% do prazo total de execução de seus serviços.

A maioria dos fabricantes que participaram desta pesquisa também afirmaram que possuem equipamentos ou sistema de produção com suporte a interface digital, entretanto apenas 30% disseram já ter utilizado esta funcionalidade, sobretudo para testes operacionais. De acordo com essas empresas, a interface com o terminal CAM dos equipamentos procede principalmente por meio da programação manual ou com o uso de leitores de código de barras. A Figura 42 expõem o uso e suporte à interface digital segundo as empresas participantes.

Figura 42 – Uso e suporte à interface-digital segundo os participantes da pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos fabricantes que participaram da pesquisa

Quando questionadas sobre quais os motivos de não utilizarem a interface digital, tanto as empresas entrevistadas presencialmente quanto as empresas que responderam ao questionário afirmam consensualmente que se devia a baixa confiabilidade nas informações recebidas. Acredita-se que interface digital com os demais agentes poderia reduzir a intervenção manual, probabilidade de erros associada e promover maior produtividade ao processo industrial de corte e dobra.

A Figura 43 apresenta os principais problemas encontrados ao longo da cadeia produtiva do aço cortado e dobrado de acordo com os referidos autores e percepção das empresas entrevistadas.

Figura 43 – Problemas encontrados na cadeia produtiva do aço cortado e dobrado

Fonte: Elaborado pelo autor

5.1.1.3 Cenário pretendido: Configuração da CPACD no contexto BIM

O uso do processo BIM tende a influenciar a interação bem como fomentar o reuso das informações entre os agentes que atuam ao longo do ciclo de vida da CPACD. Contribui, quando apropriadamente utilizado, para redução de alguns dos problemas relacionados às falhas de comunicação e fluxo de informação encontrados no processo tradicionalmente adotado pelo setor.

O primeiro impacto relaciona-se aos benefícios proporcionados pela representação tridimensional. A visualização 3D reduz consideravelmente o esforço cognitivo necessário à percepção dos objetivos e necessidades do empreendedor. Facilita a transmissão das intenções e premissas ao projetista estrutural, assim como às empresas responsáveis pelas demais especialidades.

Em contraste ao processo tradicionalmente empregado no desenvolvimento do PDA, o uso de modelos virtuais auxilia a mitigar eventuais divergências no projeto estrutural. O PDA mantém-se intrínseco ao desenvolvimento do modelo geométrico (fôrmas) e compartilha as mesmas informações contidas nos elementos estruturais.

Após a modelagem das armaduras e demais componentes, desenhos e quantitativos de materiais passam a ser subprodutos do modelo. A documentação gerada a partir de uma base comum e coordenada contribui para reduzir a ocorrência de divergências entre as informações contidas no PDA e tabelas de quantitativos de materiais, comuns no processo de projeto tradicional. Eventuais alterações no modelo também são reproduzidas nos documentos associados, garantindo a consistência e atualização das informações.

Destaca-se também a facilidade proporcionada pelo processo BIM na identificação (assim como na prevenção) de possíveis problemas de interface. Seu uso auxilia a mitigar erros e omissões desde as etapas iniciais do processo, contribuindo para redução do retrabalho, ciclo de aprovação e duração dos projetos.

Na Figura 44 apresenta-se um modelo de detalhamento de armaduras elaborado de acordo com o processo BIM. O PDA (Figura 45), foi elaborado a partir das informações contidas no modelo apresentado na Figura 44, ou seja, ambos representam diferentes vistas da mesma informação.

Figura 44 – Modelo de detalhamento de armaduras desenvolvido por meio do processo BIM

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 45 – Exemplo de PDA extraído a partir de um modelo de detalhamento de armaduras

Fonte: Elaborado pelo autor

Além dos benefícios proporcionados ao processo de projeto, o emprego de uma base comum, multidisciplinar e coordenada, baseada nos modelos BIM, agrega maior confiabilidade e integridade às atividades realizadas pela empresa construtora. A possibilidade de simular virtualmente as definições projetuais, construtivas e operacionais contribui para antever eventuais problemas, que, em muitos casos, somente eram identificados durante sua execução.

A adoção e o amadurecimento do uso do processo BIM pelos demais agentes da CPACD tende a consolidar o uso da fabricação digital às empresas prestadoras de serviço de corte e dobra. Segundo Eastman et al. (2011), empresas que já utilizam equipamentos CNC (como no setor de corte e dobra) poderão ter o uso impulsionado pela adoção do BIM.

Entre as empresas beneficiadoras de aço cortado e dobrado que participaram da pesquisa realizada, 80% declararam possuir equipamentos ou sistemas de gestão que suportam a importação dos dados de produção em formato digital. Ademais, 30% delas afirmam já ter utilizado a interface digital por meio dos padrões BVBS ou IGV, sobretudo, para testes operacionais.

Entretanto, a consolidação da fabricação digital por essas empresas esbarra na interoperabilidade e integridade das informações. Segundo alguns dos entrevistados, a baixa confiabilidade no PDA e o fato de não o receber em um formato digital que possibilite o reuso dos dados por seu sistema industrial inibe o efetivo uso da fabricação digital. Acredita-se que a interface digital aliada à potencial integridade

associada ao processo BIM proporcionará às prestadoras de serviço de corte e dobra a redução da intervenção manual para transcrição dessas informações.

Eastman et al. (2011) também aponta questões relacionadas à *marketing*, melhor capacidade de adaptar-se a alteração tardias de projeto ou planejamento, controle e qualidade na gestão da cadeia de suprimentos e logística (resultantes da integração do BIM com sistemas ERP) como potenciais benefícios que a adoção do BIM pode proporcionar aos fabricantes.

Como exemplo do potencial dos processos BIM, Moon, Zekavat e Bernold (2015) apresentaram o emprego de identificadores por radiofrequência (RFID) no fornecimento de aço cortado e dobrado e logística do canteiro de obras. Favorecendo a rastreabilidade, cada componente contido no modelo BIM possui um identificador global único associado que pode ser incluído na etiqueta de identificação fornecida pelo fabricante e facilitar o rastreamento do aço cortado e dobrado mediante ao uso de dispositivos móveis, conforme apresentado na Figura 46.

Figura 46 – Rastreamento dos componentes com uso de dispositivos móveis.

Fonte: adaptado de (TEKLA, 2012)

A Figura 47 apresenta a proposta do autor para configuração da cadeia produtiva no contexto do processo BIM. As informações geradas ao longo do processo de concepção³⁹ e produção de armadura mantêm-se compartilhadas⁴⁰ (com base no

³⁹ Foram omitidas as atividades de análise e aprovação ao fim de cada etapa intermediária do processo de projeto embora elas sejam são validadas pela contratante com base no modelo BIM.

⁴⁰ Apesar de compartilhar informações com o modelo estrutural BIM e possibilitar sua atualização, modelo de análise estrutural pode ser mantido externamente à base compartilhada, devido à responsabilidade técnica e civil associada.

Informações comerciais, como a transação entre o fabricante e o construtor, podem ser mantidas externas a base de dados compartilhada caso possuem confidencialidade.

formato IFC) e são complementadas progressivamente pelos intervenientes que atuam na CPACD, de modo a possibilitar o reuso das informações ao longo do seu ciclo de vida.

Figura 47 – Configuração proposta para a CPACD no contexto do processo BIM

Fonte: Elaborado pelo autor

5.1.2 Definição do escopo

O escopo do presente IDM abrange parcialmente o segundo estágio do processo de concepção e produção de armaduras (fornecimento e processamento do aço) e limita-se ao fornecimento de aço pré-processado industrialmente, conforme abordado na subseção 2.2.2.2.

Tem como objetivo viabilizar a interface digital e reuso das informações requeridas pelo **fabricante**, contidas no PDA e pedido de compra, por meio do padrão IFC. Exclui-se, apesar de previstos pela arquitetura do esquema IFC, questões relativas ao âmbito econômico e logístico.

A Figura 48 apresenta, esquematicamente, a delimitação do escopo a ser atendido no presente IDM. Foram consideradas três atividades: a última atividade

Nos quadros 8, 9 e 10 apresentam-se os objetivos, bem como as informações necessárias a cada uma das atividades supracitadas. O estágio do ciclo de vida em que ocorre a atividade e disciplina responsável por sua execução estão classificados de acordo com a norma NBR 15.965–3 (ABNT, 2014)

Quadro 8 – Atividade T1: Modelagem de detalhamento de armaduras

Estágio:	Fase de detalhamento de projeto (1F 20 20 11)
Disciplina:	Engenharia de estruturas (1D 21 31 14)
Descrição:	Modelagem das armaduras de cada elemento estrutural, de acordo com o dimensionamento definido pelo engenheiro estrutural e pelo sistema construtivo definido pelo agente construtor.
Informações necessárias:	Modelo estrutural coordenado com as demais disciplinas e aprovado pelo contratante, contendo: as dimensões geométricas finais de todos os elementos estruturais; especificação dos materiais; definição da extensão de cada fase de concretagem; aberturas, furos e elementos embutidos.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 9 – Atividade T2: Planejamento do lote de produção

Estágio:	Fase de programação (1F 20 20 11)
Disciplina:	Programação/cronograma (1D 25 21 00)
Descrição:	Definir, de acordo com o planejamento executivo do empreendimento, a programação e a sequência do serviço de armação, as armaduras necessárias à sua execução assim como as datas de entrega do aço pré-processado.
Informações necessárias:	Modelo de detalhamento de armaduras final contendo a especificação, quantidade e formato de dobra de todos os vergalhões.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 10 – Atividade T3: Solicitação do aço cortado e dobrado

Estágio:	Fase de pedido de produtos (1F 40 30 24)
Disciplina:	Aquisição de produtos de construção (1D 25 41 21)
Descrição:	Solicitação do lote de produção de aço pré-processado junto à empresa prestadora de serviços de corte e dobra.
Informações necessárias:	Modelo de detalhamento de armaduras final com a atribuição das datas de entrega do aço pré-processado no canteiro de obras, a indicação do fornecedor do aço cortado e dobrado e os demais dados do pedido de compra.

Fonte: Elaborado pelo autor

5.1.3.1 Modelos de troca de informação

Cada uma das atividades descritas anteriormente tem como produto um modelo de troca específico, ou seja, um modelo BIM que contém as informações requeridas por seu agente receptor.

O primeiro modelo de troca (EM.A – Modelo de detalhamento de armaduras) contém a quantidade e a especificação da armadura necessárias a cada elemento estrutural. O segundo modelo (EM.B – Modelo de planejamento de armação) contém dados sobre a extensão de cada lote de armadura e data de entrega previstas de acordo com o planejamento executivo da obra. No terceiro modelo (EM.C – Modelo de pedido de aço cortado e dobrado), cada lote de produção é associado a uma ordem de compra que será enviada ao fabricante de aço cortado e dobrado.

Nos quadros 11, 12 e 13 são descritos os objetivos, conteúdo, nível de detalhe (dados geométricos) e nível de informação (dados não-geométricos) previstos para cada modelo de troca. As disciplinas de origem e destino bem como o estágio do ciclo de vida em que a troca ocorre também estão classificados de acordo com a norma NBR 15.965–3 (ABNT, 2014).

Quadro 11 – EM.A: Modelo de detalhamento de armaduras

Estágio:	Fase de detalhamento de projeto (1F 20 20 11)
Disciplina:	De: Engenharia de estruturas (1D 21 31 14) Para: Programação/cronograma (1D 25 21 00)
Descrição:	Propósito: Fornecer ao construtor e à equipe de planejamento do empreendimento a especificação das armaduras necessárias à execução do processo de armação. Conteúdo: Identificação da posição, diâmetro nominal, categoria do aço, massa unitária, comprimento unitário e dimensões geométricas de cada formato de vergalhão. Comprimento, massa total e quantidade de peças necessárias a cada elemento estrutural. Identificação do empreendimento e documentos de referência a serem utilizados na montagem da armadura.
Nível de detalhe:	Dimensões geométricas dos formatos de vergalhão, considerando a curvatura das dobras de acordo com a norma técnica aplicável.
Nível de informação:	Dados para identificação das peças de armadura, elemento estrutural relacionado e instruções de dobra do formato de vergalhão.
Modelos relacionados:	Modelo geométrico estrutural (fora do escopo deste IDM)

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 12 – EM.B: Modelo de planejamento de armação

Estágio:	Fase de programação (1F 40 20 31)
Disciplina:	De: Programação/cronograma (1D 25 21 00) Para: Aquisição de produtos de construção (1D 25 41 21)
Descrição:	Propósito: Especificar à equipe de suprimentos do empreendimento qual o lote de vergalhões pré-processados requerido e datas de entregas definidas pelo planejamento executivo da obra. Conteúdo: Planejamento do serviço de armação de acordo com a extensão de cada fase de execução da estrutura de concreto armado e interdependência com os demais subsistemas relacionados; Definição do lote de armaduras necessário a cada fase de produção; Programação das datas de entrega do aço necessários ao serviço de armação;
Nível de detalhe:	Não aplicável
Nível de informação:	Datas de início e término das atividades previstas para o serviço de armação; Data para entrega do aço pré-processado no canteiro de obras; Peças complementares necessárias à montagem e posicionamento das armaduras, não incluídas no modelo de detalhamento de armaduras
Modelos relacionados:	EM.A

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 13 – EM.C: Modelo de pedido de aço cortado e dobrado

Estágio:	Fase de pedido de produtos (1F 40 30 24)
Disciplina:	De: Aquisição de produtos de construção (1D 25 41 21) Para: Fabricação de produtos de construção (1D 41 11 11)
Descrição:	Propósito: Solicitar à empresa prestadora de serviço de corte e dobra o fornecimento do aço pré-processado. Conteúdo: Definição da empresa responsável pelo fornecimento do aço cortado e dobrado; Formalização do pedido de compra, considerando os prazos de antecedência previstos pelo contrato comercial e data de entrega prevista pelo planejamento do empreendimento;
Nível de detalhe:	Não aplicável
Nível de informação:	Dados para identificação do empreendimento e do local de entrega do aço pré-processado; condições de acesso, método de recebimento/descarga.
Modelos relacionados:	EM.B, incluindo as informações contidas no EM.A

Fonte: Elaborado pelo autor

5.1.3.2 Mapa de processo

A Figura 49, apresenta o mapa de processo para a interface projeto-pedido de aço cortado e dobrado segundo a notação BPMN.

Figura 49 – Mapa de processo para interface projeto-pedido para produção de aço pré-processado

Fonte: Elaborado pelo autor

5.1.4 Requisitos de troca (Exchange Requirements)

A partir das atividades e seus respectivos modelos de troca identificados no mapa de processo, procedeu-se ao levantamento dos requisitos de troca (*Exchange Requirements* – ER) definidos pelo agente receptor de cada modelo de informação.

As informações foram categorizadas em requisitos de troca do produto (**er_rFab_A**), requisitos de troca do processo de armação (**er_rFab_B**) e requisitos de troca do pedido (**er_rFab_C**), e contemplam as unidades de informação que devem estar incluídas nos modelos de troca EM.A, EM.B e EM.C, respectivamente.

Com base nas entrevistas realizadas junto às empresas prestadoras de serviço de corte e dobra, os fabricantes de equipamentos e o desenvolvedor do sistema de gestão de produção industrial, constatou-se que embora possam haver variações quanto ao método utilizado na transcrição dos dados do PDA os requisitos de troca do produto correspondem aos dados previstos pelo padrão BVBS.

Quanto aos requisitos de troca do processo de armação, identificou-se que as informações necessárias ao fabricante, relacionadas ao planejamento executivo do serviço de armação, limitam-se a data de entrega desejada. Ademais, são necessárias informações sobre as condições de acesso ao local de entrega (eventuais restrições de horário e ao porte do veículo usado para a entrega) e sobre o método que será utilizado pela construtora para a descarga do material (descarga manual ou com auxílio de equipamentos como grua ou guindaste).

Para a definição dos requisitos de troca do pedido, foi solicitado às empresas participantes da pesquisa que descrevessem os requisitos de informações necessário ao pedido. Segundo essas empresas, as informações necessárias constam no formulário fornecido pela empresa prestadora de serviços de corte e dobra. No ANEXO A apresentam-se os formulários utilizados como referência para definição dos requisitos de troca do pedido.

Embora o modelo destinado à interface com o fabricante (EM.C) se resuma aos requisitos de troca relativos ao pedido do aço cortado e dobrado (er_rFab_C), os requisitos foram agrupados de acordo com a ordem em que ocorre a sua definição. Desta forma algumas informações são consumidas ao longo do processo e, portanto, não estão incluídas no requisito de troca final. É o caso dos requisitos relativos ao planejamento do serviço de armação, necessários à definição da data de entrega do aço pré-processado no canteiro de obras da construtora.

O Quadro 14 apresenta os requisitos de troca identificados. As unidades de informações foram estruturadas de acordo com a norma ISO 29481-1 (ISO, 2016) e classificadas⁴² por tipos de objetos (tipo de informação e conceito de interesse). Para

---

⁴² Para classificação das unidades de informação, a norma ISO 29481-1 (ISO, 2016) apresenta em seu anexo B a terminologia *Object type*, *Property concept* e *Property*. Optou-se neste trabalho por classificá-las em tipo de informação, conceito de interesse e atributos tendo como base a própria definição de unidade de informação exposta pela referida norma.

classificação dos conceitos de interesse adotou-se as entidades previstas pelo esquema IFC como “biblioteca de tipo de objetos”⁴³.

Os atributos ou propriedades que devem estar obrigatoriamente incluídos em cada modelo de troca (requisitos de troca) foram classificados como atributos mandatórios (M). Com base nos atributos previstos por cada entidade IFC aplicável, foram considerados alguns atributos que, embora não sejam essenciais, podem facilitar a troca de informações entre os agentes da CPACD. Esses atributos foram classificados como “Atributo Opcional” (O).

De forma a manter a coerência em relação ao público consultado no desenvolvimento do presente IDM (especialistas que atuam no setor de aço cortado e dobrado, porém não-técnicos sob a óptica da TIC), optou-se por não considerar nesta etapa algumas particularidades específicas da arquitetura IFC (como objetos-tipo, relação objetificada e declaração de entidades) as quais serão abordadas posteriormente ao longo do desenvolvimento do MVD.

---

⁴³ A norma ISO 29481-1 (ISO, 2016) recomenda que as unidades de informação definidas nos requisitos de troca sejam estruturadas com base em uma biblioteca de tipo de objetos, a qual define quais os objetos disponíveis e eventuais restrições de informação aplicáveis. A mesma norma expõe apenas que esta biblioteca deverá ser fornecida pelo “cliente”.

Entende-se, na carência de maiores referências, que seja fornecida ao grupo responsável pelo desenvolvimento do IDM (formado, em geral, por usuários da TIC) uma lista contendo os objetos aplicáveis ao esquema de dados que se pretenda adotar (no contexto deste trabalho, o esquema de dados IFC).

Quadro 14 – Requisitos de troca para fabricação digital de aço cortado e dobrado

TIPO DE INFORMAÇÃO	Definição		Exemplo e explicações adicionais	er_rFab_A	er_rFab_B	er_rFab_C
Conceito de interesse						
Atributos necessários						
INFORMAÇÕES DE REFERÊNCIA						
Empreendimento						
Nome do empreendimento	Nome ou código de identificação do empreendimento	Nome curto ou código adotado para o empreendimento	M	M	M	
Descrição	Descrição do empreendimento	Descrição do empreendimento, para fins informativos	O	O	O	
Nome longo	Nome longo do empreendimento	ex.: P.XYZ.L3 (nome curto) ; Projeto XYZ Lote 3 (Nome longo)	O	O	O	
Fase	Fase do ciclo de vida		O	O	O	
Unidade	Unidades globais aplicáveis ao projeto	exemplo: metro; centímetro; milímetro; quilograma, etc..	M	M	M	
Local						
Nome	Nome ou código do local do empreendimento	Nome curto ou código de identificação do local	M	M	M	
Descrição	Descrição do local do empreendimento	Descrição do local, para fins informativos (ex. Cidade Universitária)	O	O	O	
Nome longo	Nome longo do local do empreendimento	ex. USP (nome curto) ; Universidade de São Paulo (nome longo)	O	O	O	
Latitude	Latitude do local do empreendimento	exemplo: 23° 33' 17.7" S			O	
Longitude	Longitude do local do empreendimento	exemplo: 46° 43' 55.2" W			O	
Endereço	Endereço do local do empreendimento	Endereço completo do local do empreendimento	M	M	M	
Condição de acesso	Condições de acesso ao local do empreendimento	Restrição de horários para entrega; porte de veículo suportado			M	
Construção						
Nome	Nome ou código de identificação da construção	Nome curto ou código da construção (ex. EPUSP; T1; OAE2)	M	M	M	
Descrição	Descrição da construção	Descrição da construção, para fins informativos (ex. Edifício sede X)	O	O	O	
Nome longo	Nome longo da construção	exemplo: Edifício X; Torre 1, Viaduto 2;	O	O	O	
Endereço	Endereço da construção, caso seja diferente do local	Endereço da construção, caso seja diferente do local	M	M	M	
Método construtivo	Indicação do método construtivo adotado		O	M		
Pavimento						
Nome	Nome ou código de identificação da construção	Nome curto ou código de identificação do pavimento	M	M	M	
Descrição	Descrição da construção	Descrição do pavimento para fins informativos.	O	O	O	
Nome longo	Nome longo da construção	exemplo: SS1 (nome curto) 1º Subsolo (Nome longo)	O	O	O	
Informações dos agentes						
Identificação do projetista	Identificação e contatos da empresa projetista	Nome, endereço, contato da empresa, etc.	M	O	O	
Identificação da construtora	Identificação e contatos empresa construtora	Nome, endereço, contatos da empresa, etc.	O	M	O	
Responsável pela obra	Identificação e contato do responsável pela obra	Nome e contato do responsável pelo setor de suprimentos da obra		O	M	
Contato no canteiro de obras	Identificação e contato do responsável pela obra	Nome e contato do responsável pelo aço no canteiro de obras			M	
Identificação do fabricante	Identificação e contatos do fornecedor de aço	Nome, endereço e contatos da prestadora de serviço de corte e dobra		O	M	
Documentos de referência						
PDA de referência	Número do projeto de detalhamento de armaduras	Número do desenho que será utilizado para montagem da armadura	M	M	M	
Versão do PDA	Número da revisão do PDA	Versão atual do desenho que será utilizado para montagem da armadura	M	M	M	

TIPO DE INFORMAÇÃO		Definição	Exemplo e explicações adicionais	er_rFab_A	er_rFab_B	er_rFab_C	
Conceito de interesse							
Atributos necessários							
ELEMENTOS		parte de unidade de construção que, por si só ou em conjunto com outras dessas partes, desempenha uma função predominante da unidade de construção.					
	Elemento estrutural	Elemento da estrutura de concreto armado	exemplo: Pilar, viga, laje, escada, fundação, parede, etc...				
	Designação	Designação do elemento ou tipo de elemento	Designação de acordo a norma NBR 7191 (ex. P1; V201; L1; S1)	M	M	M	
	Identificação	Identificador do elemento estrutural	Identificador do elemento no caso de utilizar-se designação por tipo. exemplo: S1 (designação do tipo); S1_P1 (identificação do elemento)	O	O	M	
	Descrição	Descrição do elemento estrutural	Descrição do elemento, para fins informativos (ex.: Pilar 1; V.2 200x400)	O	O	O	
	Geometria	Dimensões geométricas do elemento estrutural		M	M	O	
	Localização	Localização espacial do elemento estrutural	Posicionamento do elemento no contexto do projeto (ex. 1º Pav.)	M	M	O	
	Fase da execução	Fase em que o elemento será executado	Fase do lote de produção associado ao elemento estrutural (ex. Lote 2)	O	M		
	Programação da execução	Programação prevista para execução na obra	Datas planejadas para execução do elemento estrutural		M		
COMPONENTES		componente ou conjunto de componentes para incorporação permanente em unidades da construção					
	Armadura	Conjunto de peças de armadura associadas, destinadas a armação de um elemento estrutural	Peças de armadura são um conjunto de componentes de armadura (vergalhões com formato e propriedades definidas), com uma função atribuída no contexto do projeto.				
	Designação	Designação do tipo de peça de armadura	Numeração ("posição") atribuída ao tipo de peça (ex.: N1)	M	M	M	
	Identificação	Identificador da peça de armadura	No caso de a peça possuir repetição (ex. 2xN1)	M	M	O	
	Descrição	Descrição do tipo de armadura	Descrição da armadura, para fins informativos (ex.: armadura do pilar P1)	O	O	O	
	Diâmetro nominal	Diâmetro nominal do vergalhão	De acordo com os diâmetros previstos pela NBR 7480.	M	M	M	
	Área da seção nominal	Área da seção nominal do vergalhão	Valor nominal seção do vergalhão conforme NBR 7480 (anexo B)	M	O	O	
	Superfície	Tipo de superfície do vergalhão	Classificação da superfície conforme NBR 7480 (nervurada; lisa; entalhada)	M	O	O	
	Material	Categoria do aço do vergalhão	Categoria conforme NBR 7480 (CA-25; CA-50; CA-60)	M	M	M	
	Comprimento unitário	Comprimento do tipo de componente de armadura	Comprimento do formato de dobra desenvolvido	M	M	M	
	Massa unitária	Massa do tipo de componente de armadura	Calculada com base na massa nominal definida pela NBR 7480 (anexo B)	M	M	M	
	Geometria	Geometria do tipo de componente de armadura	Geometria do formato de dobra do componente de armadura	M	M	M	
	Instrução de dobras	* Instruções para dobra do componente de armadura	* A ser definido em conjunto com o desenvolvimento MVD	M	M	M	
	Diâmetro do pino de dobra	Diâmetro da curvatura interna das dobras	Diâmetro mínimos previstos pela NBR 6118	M	M	M	
	Posicionamento das peças	Localização espacial da peça em relação a armadura	exemplo: armadura negativa, armadura positiva, etc..	M	M	O	
	Função estrutural	Função da peça de armadura	exemplo: armadura longitudinal, estribo, etc.	M	M		
	Quantidade	Quantidade de componentes de armadura associado	Quantidade de componente de armadura incluídos na peça	M	M	M	
	Comprimento total	Comprimento total da peça de armadura	Somatória do comprimento dos componentes de armadura associados a peça	M	O	O	
	Massa total	Quantidade de componentes de armadura associado	Somatória da massa dos componentes de armadura associados a peça	M	O	O	
	Posicionamento da armadura	Localização espacial da armadura em relação ao respectivo elemento estrutural	Posicionamento da armadura no contexto do projeto (ex.: armadura pilar P1)	M	M	O	
	Fase da execução	Fase do serviço de armação associado	Fase do lote de produção associado a armadura (ex. Lote 2)	O	M		
	Programação do serviço de armação	Programação prevista para montagem da armadura	Datas planejadas para pré-montagem e montagem final da armadura		M		
	Data de entrega do aço	Data de entrega dos componentes pré-fabricados	Datas planejadas para recebimento do aço cortado e dobrado na obra		M	M	

5.2 MVD: SOLUÇÃO TÉCNICA À FABRICAÇÃO DIGITAL DE ARMADURAS

De modo a subsidiar o desenvolvimento da solução técnica aos requisitos previstos pelo IDM, buscou-se, inicialmente, analisar como tais informações são descritas no esquema IFC. Com base na especificação IFC4 *Addendum 2*, atual versão do esquema IFC (BUILDINGSMART, 2016), identificou-se como a abordagem analítica do produto e do processo de produção de armaduras (exposta na seção 2) apresenta-se sob a óptica do esquema IFC.

A Figura 50 apresenta uma visão geral desta análise. Algumas das informações prestadas estão descritas em relação ao seu supertipo abstrato e serão detalhadas nas seções subsequentes.

Figura 50 – Abordagem analítica do produto e processo de produção de armaduras segundo o IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.1 Informações de referência do empreendimento

Segundo a especificação IFC (BUILDINGSMART, 2016), um empreendimento realizado pela indústria AECO que conduza a um produto final (como por exemplo, uma construção) é representado pela entidade **IfcProject**. Esta entidade estabelece o contexto para que as informações (geométricas e não-geométricas) sejam trocadas e representa a base hierárquica às demais informações do empreendimento (objetos e tipos de objetos, subtipos de **IfcObject** e **IfcTypeObject**).

O contexto espacial dos produtos da construção civil é definido por meio das entidades pertencentes a **IfcSpatialStructureElement**. Entre seus subtipos, encontram-se disponíveis entidades usadas para declaração do local do empreendimento (**IfcSite**), da construção⁴⁴ (**IfcBuilding**), assim como das partes da construção, como por exemplo, um andar de uma edificação (**IfcBuildingStorey**). Embora não seja obrigatória⁴⁵, a definição do contexto espacial fornece uma estrutura para declaração dos elementos construtivos empregados no empreendimento (**IfcBuildingElement**).

A Figura 51 apresenta a estrutura espacial típica de um empreendimento do setor de edificações. Os elementos construtivos estão associados a um edifício (ou pavimento, caso aplicável), que por sua vez está associado a um local que será declarado no contexto do empreendimento.

Figura 51 – Estrutura espacial do empreendimento de acordo com o esquema IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

⁴⁴ Embora o esquema IFC tenha por objetivo atender aos diversos segmentos da indústria AECO, atualmente sua especificação está focada no setor de edificações

⁴⁵ Ressalta-se que os elementos construtivos (subtipos de **IfcElement**) podem ser declarado diretamente no contexto do empreendimento, caso aplicável.

O Quadro 15 apresenta o mapeamento IFC das entidades e respectivos atributos necessários à declaração das informações de referência previstas pelo IDM, relacionadas ao empreendimento, local do empreendimento, construção e do pavimento. Também são apresentados o número de identificação do atributo (#), tipo de dado ou entidade relacionada e o nível em que ocorre a declaração da informação (entidade ou entidade abstrata).

Quadro 15 – Mapeamento das informações de referência do empreendimento e da construção

Atributos necessários	Entidade IFC : atributo	#	Tipo de dado	Nível
Empreendimento				
Nome	IfcProject : Name	# 3	IfcLabel	IfcRoot
Descrição	IfcProject : Description	# 4	IfcText	IfcRoot
Nome longo	IfcProject : LongName	# 6	IfcLabel	IfcContext
Fase	IfcProject : Phase	# 7	IfcLabel	IfcContext
Unidade	IfcProject : UnitsInContext	# 9	IfcUnitAssignment	IfcContext
Local do empreendimento				
Nome	IfcSite : Name	# 3	IfcLabel	IfcRoot
Descrição	IfcSite : Description	# 4	IfcText	IfcRoot
Nome longo	IfcSite : LongName	# 8	IfcLabel	IfcSpatial Element
Latitude	IfcSite : RefLatitude	# 10	IfcCompoundPlaneAngle Measure	IfcSite
Longitude	IfcSite : RefLongitude	# 11	IfcCompoundPlaneAngle Measure	IfcSite
Endereço	IfcSite : SiteAddress	# 14	IfcPostalAddress	IfcSite
Construção				
Nome	IfcBuilding : Name	# 3	IfcLabel	IfcRoot
Descrição	IfcBuilding : Description	# 4	IfcText	IfcRoot
Nome longo	IfcBuilding : LongName	# 8	IfcLabel	IfcSpatial Element
Endereço	IfcBuilding : BuildingAddress	# 10	IfcPostalAddress	IfcSite
Método construtivo	Pset_BuildingCommon : ConstructionMethod	–	P_SINGLEVALUE / IfcLabel	IfcObject
Pavimento				
Nome	IfcBuildingStorey : Name	# 3	IfcLabel	IfcRoot
Descrição	IfcBuildingStorey : Description	# 4	IfcText	IfcRoot
Nome longo	IfcBuildingStorey : LongName	# 8	IfcLabel	IfcSpatial Element

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.2 Informações de referência dos agentes

Para declaração dos agentes envolvidos em um empreendimento por meio do esquema IFC, emprega-se a entidade **IfcActor**. Cada ocorrência desta entidade possibilita a definição de uma organização, uma pessoa ou de uma pessoa associada a uma organização. A seleção do tipo de agente aplicável é modelada por meio da entidade **IfcActorSelect**, conforme representado na Figura 52. Adicionalmente, pode-se representar a relação entre empresas, departamento ou grupos empresariais por meio da relação **IfcOrganizationRelationship**.

Figura 52 – Seleção do tipo de agente de acordo com o esquema IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

Para declaração dos dados do agente, seja uma organização, uma pessoa ou uma pessoa relacionada a uma organização, empregam-se as entidades da camada de recurso IFC, **IfcOrganization**, **IfcPerson** ou **IfcPersonAndOrganization**, respectivamente. A função exercida pelo agente no contexto do empreendimento é definida por meio da entidade **IfcActorRole**, preferencialmente⁴⁶ com base na lista de enumeradores predefinidos pela entidade **IfcRoleEnum**.

Informações para o contato (postal ou eletrônico) das pessoas ou organizações envolvidas no empreendimento são definidas pelos subtipos de **IfcAddress** (**IfcTelecomAddress** ou **IfcPostalAddress**).

⁴⁶ Entre as 22 enumerações previstas por **IfcRoleEnum** encontram-se, por exemplo **STRUCTURALENGINEER** (engenheiro estrutural), **CONSTRUCTIONMANAGER** (gerente da construção) ou **FIELDCONSTRUCTIONMANAGER** (gestor da construção em campo).

Caso a função exercida pelo agente não possa ser definida por meio das opções predefinidas, sua função deve ser especificada pelo atributo **IfcActorRole:UserDefinedRole**.

A Figura 53 apresenta os atributos previstos por estas entidades. Os três primeiros atributos pertencem ao supertipo **IfcAddress** e são utilizados para definição e descrição do tipo de endereço ou contato. A especificação de onde o agente está locado é definida por meio dos enumeradores predefinidos por **IfcAddressTypeEnum** (OFFICE; SITE; HOME; DISTRIBUTIONPOINT). Caso não seja possível definir sua localização por meio destas opções, a especificação deve ser realizada pelo atributo **IfcAddress:UserDefinedPurpose**.

Figura 53 – Atributos previstos pelas entidades IfcPostalAddress e IfcTelecomAddress

Fonte: (BUILDINGSMART, 2016, tradução nossa)

O Quadro 16 apresenta o mapeamento IFC para as informações de identificação dos agentes da CPACD. Cada um dos agentes previstos no IDM (projetista, construtora e fabricante) é representado por uma ocorrência de **IfcActor**. Para a definição do tipo de endereço ou contato aplica-se **IfcAddressTypeEnum:OFFICE** aos contatos locados no escritório ou sede das empresas e **IfcAddressTypeEnum:SITE** aos contatos locados na obra.

Quadro 16 – Mapeamento das informações de referência dos agentes

Atributos necessários	Entidade IFC : atributo	#	Tipo de dado	Nível
Identificação do agente				
Nome	IfcActor : Name	# 3	IfcLabel	IfcRoot
Descrição	IfcActor : Description	# 4	IfcText	IfcRoot
Tipo de agente	IfcActor : TheActor	# 6	IfcActorSelect	IfcActor
Identificação e contato da empresa				
Nome	IfcOrganization : Name	# 2	IfcLabel	IfcOrganization
Descrição	IfcOrganization : Description	# 3	IfcText	IfcOrganization
Função	IfcOrganization : Role	# 4	IfcActorRole	IfcOrganization
Endereço	IfcOrganization : Address	# 5	IfcPostalAddress	IfcAddress
Contato	IfcOrganization : Address	# 5	IfcTelecomAddress	IfcAddress

Atributos necessários	Entidade IFC : atributo	#	Tipo de dado	Nível
Identificação e contatos individuais				
Nome	IfcPerson : GivenName	# 3	IfcLabel	IfcPerson
Sobrenome	IfcPerson : MiddleNames	# 4	IfcLabel	IfcPerson
	IfcPerson : FamilyName	# 2	IfcLabel	IfcPerson
Função	IfcPerson: Role	# 4	IfcActorRole	IfcPerson
Endereço	IfcPerson: Address	# 5	IfcPostalAddress	IfcAddress
Contato	IfcPerson: Address	# 5	IfcTelecomAddress	IfcAddress

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.3 Informações de referência dos elementos estruturais e da armadura

Segundo a norma NBR 15.965-1 (ABNT, 2011), elementos são parte da construção que, individualmente ou combinados com outras partes, exercem uma função predominante no ciclo de vida do empreendimento. São modelados no esquema IFC por meio dos subtipos da entidade **IfcElement**. No caso dos elementos estruturais empregam-se os subtipos de **IfcBuildingElement**, como por exemplo: **IfcBeam** (vigas); **IfcColumn** (Pilares); **IfcSlab** (lajes); **IfcPile** (estacas).

Para o esquema IFC, também são considerados elementos o conjunto de objetos associados, como por exemplo, a montagem das peças que compõe a armadura de um elemento de estrutura de concreto armado. Neste contexto, a armadura é modelada no IFC com o uso da entidade **IfcElementAssembly**.

As informações⁴⁷ necessárias à designação, descrição e representação dos elementos estruturais são especificadas ao nível dos supertipos abstratos de **IfcElement**, conforme apresentado na Figura 54. Por meio do atributo **Name** é atribuído uma designação a cada elemento (por exemplo V.1, P1). Maiores informações sobre o elemento podem ser descritas por meio do atributo **Description**.

A identificação do elemento é definida por meio do atributo **Tag**. Embora possa ser similar a designação, o código identificador possibilita a identificação de cada ocorrência do elemento. Torna-se necessário sobretudo em projetos que utilize

⁴⁷ Neste trabalho limitou-se a análise das informações de referência necessárias à identificação dos elementos estruturais e armadura pelo fabricante.

Embora previsto pelo IFC, não foi abordada a representação geométrica e posicionamento destes elementos (definidas ao nível da entidade abstrata **IfcProduct**) assim como a relação dos elementos com os respectivos objetos-tipo (definidos ao nível da entidade abstrata **IfcObject**).

Estas informações encontram-se descritas em detalhes na especificação do esquema IFC (BUILDINGSMART, 2016)

designação por tipo de elementos, como por exemplo, a designação por tipos de elementos de fundação que possuam dimensões idênticas.

As armaduras representadas pela entidade **IfcElementAssembly** devem possuir a indicação do tipo de montagem (atributo **PredefinedType**) definido por **IfcElementAssemblyTypeEnum:REINFORCEMENT_UNIT**. Sua identificação segue o mesmo conceito aplicável aos demais subtipos de **IfcElement**. Ademais, pode ser indicado o local onde ocorrerá a montagem (**IfcElementAssembly: AssemblyPlace**).

Figura 54 – Atributos comuns aos subtipos de IfcElement

Fonte: Elaborado pelo autor

A composição da armadura (associação das peças) é modelada mediante o uso da relação objetificada **IfcRelAggregates**⁴⁸. Este conceito também se aplica à agregação da armadura ao respectivo elemento estrutural.

⁴⁸ Venugopal et al. (2012) ressaltam que a agregação da armadura ao elemento estrutural hospedeiro (por meio da relação objetificada **IfcRelAggregates**) provoca a sobreposição do volume ocupado pela armadura e que o uso da relação objetificada **IfcRelInterferesElements** permitiria representar a sobreposição do volume de concreto entre esses dois elementos.

Não obstante, o uso de **IfcFeatureElementSubtraction** (entidade usada na representação de elementos em que o elemento subordinado modifica o comportamento do elemento hospedeiro) poderia representar a armadura embutida no elemento estrutural.

Optou-se, neste trabalho, pelo uso da entidade **IfcElementAssembly** agregada ao elemento estrutural de forma a representar a montagem da armadura e identificação do tipo de montagem por meio do enumerador **REINFORCEMENT_UNIT**, exclusivo a esta entidade.

5.2.4 Modelagem de componentes e peças de armadura no esquema IFC

Com a publicação da versão IFC4 (ISO 16739:2013), foi proposta uma nova abordagem para representação de componentes e peças destinados à armadura passiva para estruturas de concreto em substituição a especificação adotada até a versão IFC 2x3 (BUILDINGSMART, 2007), em que cada componente era representado unicamente por meio da entidade **IfcReinforcingBar**⁴⁹.

Propriedades, características, materiais e representação geométrica comuns a um determinado formato de dobra de vergalhão (tipo de componente de armadura) passaram a ser representados ao nível de seu objeto-tipo, a entidade **IfcReinforcingBarType**.

A Figura 55 apresenta o relacionamento entre um tipo de componente de armadura (objeto-tipo) e a ocorrência do tipo de componente (peça de armadura). A modelagem é realizada por meio da relação objetificada **IfcRelDefinesByType**.

Figura 55 – Relação entre componentes e peça de armadura de acordo com o esquema IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

Nesse contexto, cada ocorrência de **IfcReinforcingBar** possibilita a declaração de um conjunto de componentes de armadura que possuam propriedades,

⁴⁹ Subtipo de **IfcReinforcingElement**, entidade abstrata empregada na representação de vergalhões, telas, cabos de protensão e demais componentes que atuam conjuntamente com o concreto de modo a prover reforço aos elementos estruturais.

características e geometria idênticas (peças de armadura), de modo a reduzir a redundância de informação para sua definição e, conseqüentemente, o tamanho dos arquivos IFC gerados.

De modo a facilitar o mapeamento dos requisitos previstos no esquema IFC para modelagem de peças (**IfcReinforcingBar**) e tipo de componentes (**IfcReinforcingBarType**), os atributos foram classificados em atributos de identificação, propriedade ou característica, conforme relacionado no Quadro 17, e analisados pontualmente.

Quadro 17 – Atributos IFC para representação de componentes e peças e armaduras

Atributo	IfcReinforcingBar ⁵⁰	IfcReinforcingBarType
Identificação dos componentes e peças de armadura		
Designação	x	x
Descrição	x	x
Identificação	x	x
Propriedades dos vergalhões		
Diâmetro nominal	–	x
Superfície	–	x
Área da seção nominal	x	x
Material	–	x
Características dos componentes e peças de armadura		
Comprimento unitário	–	x
Função estrutural	–	x
Quantitativo de materiais	x	–
Geometria do formato de dobra	–	x
Representação e posicionamento	x	–
Instruções para dobra	–	x

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.4.1 Identificação dos componentes e peças de armadura

Assim como demais entidades IFC derivadas de **IfcRoot**, tanto o tipo de componente quanto a peça de armadura carregam um identificador global único, histórico de autoria e atributos para a designação e descrição (**IfcRoot:Name** e **IfcRoot:Description**) definidos neste supertipo.

Além dos identificadores supracitados, cada objeto possui atributos específicos destinados à sua identificação, conforme representado na Figura 56. Embora

⁵⁰ Embora a entidade **IfcReinforcingBar** ainda mantenha alguns atributos relativos à especificação de material e propriedades dos vergalhões, tais atributos encontram-se descontinuados, sendo mantidos apenas por questões de compatibilidade com versões anteriores do esquema IFC.

possuam a mesma nomenclatura e sejam descritos por cadeia de caracteres alfanuméricos, distinguem-se em função do tipo de entidade empregada em sua especificação.

- **IfcReinforcingBarType**: definido pelo atributo **IfcTypeProduct:Tag** e descrito por dados do tipo **IfcLabel**. Descreve o termo como um produto é conhecido em linguagem natural (interpretável por humanos) e independente ao projeto.
- **IfcReinforcingBar**: definido pelo atributo **IfcElement:Tag** e descrito por cadeia de caracteres alfanuméricos do tipo **IfcIdentifier**. Usualmente gerado pela ferramenta de autoria BIM, específico a cada ocorrência e ao contexto de empreendimento.

Figura 56 – Identificação de componentes e peças de armadura no esquema IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

No caso de ferramentas de autoria BIM que não suportem o uso de objeto-tipo, a identificação do tipo de componente de armadura pode ser realizada pelo atributo **REFERENCE** (**IfcIdentifier**), previsto pelo conjunto de propriedades **Pset_ElementComponentCommon**.

5.2.4.2 Propriedades do vergalhão

Propriedades são atributos inerentes ao vergalhão como um produto siderúrgico, independente do formato e função que exerce quando aplicado. Seus valores são estabelecidos e padronizados com base em normas técnicas regionais. No esquema

IFC, as propriedades do vergalhão são definidas pela entidade **IfcReinforcingBarType**, as quais são adotadas por todas as ocorrências que compartilhem o mesmo objeto-tipo.

5.2.4.2.1 Diâmetro nominal

A declaração do diâmetro nominal do vergalhão deve ser definida pelo atributo **IfcReinforcingBarType:NominalDiameter**, por dados do tipo **IfcPositiveLengthMeasure** (números reais, positivos, maiores que zero). Seu valor, bem como unidade, é especificado de acordo com a norma técnica adotada.

5.2.4.2.2 Superfície

O tipo de superfície indica se o vergalhão possui alta ou baixa aderência, conforme classificação prevista na normativa nacional adotada. Deve ser declarado pelo atributo **IfcReinforcingBarType:BarSurface**, por meio de **IfcReinforcingBarSurfaceEnum**.

Segundo a especificação IFC, a superfície do vergalhão pode ser declarada como lisa (**PLAIN**) ou nervurada (**TEXTURED**). Entretanto, não é previsto um valor da enumeração para a declaração de vergalhões com superfície entalhada, o que poderá ser complementado em suas futuras atualizações.

5.2.4.2.3 Área da seção nominal

A área da seção nominal do vergalhão é definida com base na normativa nacional adotada; no caso brasileiro, padronizada de acordo com a norma NBR 7480 (ABNT, 2007). Seu valor nominal deve ser especificado ao nível do objeto-tipo, por meio do atributo **IfcReinforcingBarType:CrossSectionArea**, o qual é herdado pelas ocorrências que compartilhem essa definição.

No caso de ocorrências que representem um conjunto de vergalhões, a área total do referido grupo pode ser especificada pelo atributo **IfcReinforcingBar:CrossSectionArea**, conforme representado na Figura 57. Em ambos os casos, os valores devem ser declarados por dados do tipo **IfcAreaMeasure**, consoante a unidade prevista pela normativa adotada.

Figura 57 – Declaração da área da seção nominal do vergalhão segundo o esquema IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.4.3 Características dos componentes e peças de armadura

Características referem-se aos atributos de um determinado tipo de componente ou peça de armadura no âmbito de um projeto específico. Embora declarados ao nível do objeto-tipo, alguns atributos característicos podem ser sobrescritos por sua ocorrência.

5.2.4.3.1 Comprimento unitário

O valor do comprimento unitário de um tipo de componente de armadura é declarado pelo atributo **IfcReinforcingBarType:BarLength** e descrito por dados do tipo **IfcPositiveLengthMeasure**. O cálculo do comprimento unitário deve considerar a curvatura das dobras, em conformidade com a normativas adotada (BUILDINGSMART, 2016).

5.2.4.3.2 Função estrutural

Preferencialmente, a função que um componente ou peça de armadura exerce em um determinado elemento estrutural deve ser declarado em seu objeto-tipo por meio do atributo **IfcReinforcingBarType:PredefinedType**. Caso a ocorrência possua função distinta da especificada em seu objeto-tipo, sua função pode ser sobrescrita por meio

do atributo **IfcReinforcingBar:PredefinedType**. O Quadro 18 relaciona os valores predefinidos da enumeração (**IfcReinforcingBarTypeEnum**) previstos no esquema IFC para a declaração da função estrutural.

Quadro 18 – Enumeradores para declaração da função estrutural previstos no IFC

Valor	Descrição
ANCHORING	Armadura de ancoragem
EDGE	Armadura de pele
LIGATURE	Armadura de ligação ou armadura transversal (estribo)
MAIN	Armadura principal
PUNCHING	Armadura de punção
RING	<i>Ring reinforcement</i>
SHEAR	Armadura de cisalhamento
STUD	Conector de cisalhamento
USERDEFINED	Definido pelo usuário
NOTDEFINED	Sem definição

Fonte: (BUILDINGSMART, 2016, tradução nossa)

5.2.4.3.3 Quantitativo de materiais

A declaração dos quantitativos associados às ocorrências de **IfcReinforcingBar** é modelada por meio da entidade **IfcElementQuantity**, podendo-se declarar “quantidades básicas”⁵¹ ou quantidades que possuam critério de medição específico.

Encontra-se previsto na atual versão do esquema IFC, o conjunto de quantidades **Qto_ReinforcingElementBaseQuantities**, destinado à declaração de quantidades básicas dos elementos de reforço. Esse modelo possibilita a declaração do número de componentes de uma peça (**IfcQuantityCount**), comprimento total (**IfcQuantityLength**) e massa total (**IfcQuantityWeight**), conforme representado na Figura 58.

No caso de quantitativos que requeiram o uso de critério de medição, o método empregado deve ser especificado por meio do atributo **FORMULA**.

⁵¹ Segundo a especificação IFC, “quantidades básicas” (*Base Quantities*) são quantitativos derivados da geometria explícita do objeto e que não possuem um critério de medição específico. Em geral possuem um modelo predefinido que relaciona o conjunto de quantidades (**Qto**) aplicáveis a um determinado objeto.

Figura 58 – Declaração de quantitativos segundo esquema IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.4.3.4 Geometria do componente de armadura

A forma geométrica do componente de armadura é representada preferencialmente pelo objeto-tipo **IfcReinforcingBarType**, de modo a possibilitar o reuso da geometria por todas as ocorrências que possuam o mesmo formato de dobra. Sua representação ocorre ao nível do supertipo **IfcReinforcingBarType:RepresentationMaps**.

Segundo a especificação IFC (BUILDINGSMART, 2016), a geometria deve ser declarada por meio de sólidos tridimensionais, representados pela entidade **IfcSweptDiskSolid** ou seu subtipo **IfcSweptDiskSolidPolygonal**. Em ambos os casos, considera-se a varredura de uma circunferência com diâmetro nominal do vergalhão ao longo de uma curva diretriz tridimensional (*directrix*).

O método empregado para descrição da curva diretriz requer, de acordo com a opção adotada, a combinação de algumas entidades da camada de recursos IFC, de modo a possibilitar a representação da curvatura entre os segmentos retilíneos do formato de dobra.

Ao adotar a entidade **IfcSweptDiskSolid** para modelagem do formato do componente, pode-se utilizar qualquer um dos diversos subtipos de **IfcCurve** para descrição da curva diretriz (entidade abstrata usada para definição de curvas finitas ou infinitas no espaço 2D ou 3D). Neste caso pode-se empregar duas abordagens para composição da curva diretriz:

- **Curva composta:** cada segmento de reta e segmento de arco que compõem a curva diretriz é definido de modo discreto e posteriormente unificados com emprego da entidade **IfcCompositeCurve**, conforme representado na Figura 59. No caso do uso de curvas não finitas para descrição dos segmentos, como **IfcLine** ou **IfcCircle**, torna-se necessária a prévia delimitação de seu comprimento.

Figura 59 – Definição da curva diretriz por meio da entidade **IfcCompositeCurve**

Fonte: (BUILDINGSMART, 2016)

- **Poli curva indexada:** Incluída na primeira atualização do esquema IFC4 (BUILDINGSMART, 2015), essa abordagem possibilita uma forma compacta para representação de curvas compostas. Os segmentos de reta e segmentos de arco subsequentes são descritos por listas de coordenadas indexadas, definidos por meio da entidade **IfcIndexedPolyCurve** conforme representado na Figura 60.

Figura 60 – Definição da curva diretriz por meio da entidade **IfcIndexedPolyCurve**

Fonte: (BUILDINGSMART, 2016)

A segunda opção para modelagem do formato de dobra do componente (**IfcSweptDiskSolidPolygonal**) dispensa a declaração explícita dos segmentos de arco que compõem a curva diretriz. Neste caso, deve-se declarar apenas os segmentos de reta da curva diretriz, descritos exclusivamente por meio das entidades **IfcPolyline** ou **IfcIndexedPolyCurve**. Um raio de curvatura, definido pelo atributo **FilletRadius**, é aplicado a todas as transições.

O uso da entidade **IfcIndexedPolyCurve** para descrição da curva diretriz também dispensa a indexação dos segmentos sendo, neste caso, listadas apenas as coordenadas dos vértices da diretriz conforme representado na Figura 61.

Figura 61 – Declaração dos vértices da curva diretriz pela entidade **IfcIndexedPolyCurve**

Fonte: (BUILDINGSMART, 2016)

Embora sejam possíveis distintas abordagens para descrição da curva diretriz, o uso da entidade **IfcIndexedPolyCurve** resulta em uma representação mais compacta e é a representação recomendada pela especificação IFC para as entidades **IfcSweptDiskSolid** e **IfcSweptDiskSolidPolygonal** (BUILDINGSMART, 2016).

5.2.4.3.5 Representação e posicionamento das peças de armadura

Para representação dos componentes que compõem uma peça de armadura, emprega-se o conceito de mapeamento de objetos o qual permite reutilizar a representação geométrica definida pelo objeto-tipo e, deste modo, representar um conjunto de componentes que possuam geometria idêntica⁵² por meio de uma ocorrência **IfcReinforcingBar** única.

⁵² Embora a entidade **IfcMappedItem** não impeça o mapeamento de objetos com representação geométrica distinta e possibilite a representação de uma armadura final, optou-se neste trabalho por

Cada item representado pela entidade **IfcMappedItem** deve ser relacionado ao tipo de componente por meio do atributo **IfcMappedItem:MappingSource** e possuir sua posição relativa definida pelo atributo **IfcMappedItem:MappingTarget**.

A Figura 62 exemplifica a representação mapeada dos componentes de uma peça de armadura (estribo). A posição relativa de cada componente é definida pela transformação geométrica tridimensional do objeto-tipo mapeado (rotação, translação, espelhamento e escala) por meio da entidade **IfcCartesianTransformationOperator3D**.

Figura 62 – Exemplo de representação mapeada de uma peça de armadura

Fonte: Elaborado pelo autor

restringir o seu uso apenas às peças de armadura (formadas por componente idênticos) de forma a facilitar a recuperação dos dados incluídos do modelo IFC.

Desta forma, as peças de armadura representadas pelas ocorrências **IfcReinforcingBar** devem ser posteriormente agregadas de forma a compor a armadura (**IfcElementAssembly**) por meio da entidade **IfcRelAggregates**.

De acordo com a convenção adotada pela especificação IFC, o posicionamento de componentes que sejam subordinados a outros produtos é modelado por meio da entidade **IfcLocalPlacement**. Recomenda-se que o componente seja locado em relação ao respectivo hospedeiro (**PlacementRelTo**) e compartilhe o mesmo sistema de coordenada local definido ao hospedeiro.

Deste modo, a locação espacial das peças em relação a respectiva armadura deve ser definida no contexto de cada ocorrência **IfcReinforcingBar** pelo atributo **IfcProduct:ObjectPlacement** (mediante o uso da entidade **IfcLocalPlacement**). Este conceito também se aplica ao posicionamento da armadura (**IfcElementAssembly**) em relação ao elemento estrutural hospedeiro (como por exemplo, uma viga ou um pilar).

5.2.4.4 Instrução de dobra

Embora tenha apresentado ao longo dos anos distintas abordagens para declaração de instruções de dobras, os métodos adotados pelo esquema IFC mantiveram-se baseado em padrões típicos de formato de dobra, paramétricos e padronizados de acordo com normas técnicas, conforme descrito na subseção 5.1.1.2.

Até a versão IFC 2x3 (BUILDINGSMART, 2007), os atributos previstos pela normativa adotada eram declarados por meio de conjuntos de propriedades predefinidos (**Pset**) e associados a cada ocorrência **IfcReinforcingBar**. Essa abordagem requeria a definição de um conjunto de propriedades específico para cada norma técnica, onde o código de formato e demais parâmetros previstos eram descritos individualmente por entidades **IfcPropertySingleValue**.

A partir da versão IFC4 (BUILDINGSMART, 2016), as instruções de dobra bem como código do respectivo formato passaram a ser declaradas ao nível do objeto-tipo **IfcReinforcingBarType**, por meio de dois atributos específicos:

- **BendingShapeCode**: destina-se a descrição do código do formato típico de dobra (*Shape Code*), de acordo com a normativa adota no PDA. Presume-se que seja usada apenas uma norma para definição das instruções de dobra ao longo de todo o projeto e a mesma seja referenciada a **IfcProject** mediante o uso da entidade **IfcDocumentReference**.
- **BendingParameters**: usado para declaração das instruções de dobra, de acordo com a normativa adotada. Por meio da entidade **IfcBendingParameterSelect**, é descrita uma

lista de instruções contendo o comprimento (**IfcLengthMeasure**) e ângulo da dobra do segmento (**IfcPlaneAngleMeasure**)

Apesar da abordagem prevista pelo IFC4 prover uma forma compacta e não requerer a definição de conjunto de propriedades específicos, seu uso limita-se à declaração de formato de dobras bidimensionais poligonais. Não há opções para definição de formatos bidimensionais circulares ou em arco, vergalhões em espiral e formatos tridimensionais.

Também não está previsto no esquema IFC4, atributos para a declaração do diâmetro do pino de dobramento a ser usado no processamento dos vergalhões. Embora esse valor seja definido em acordo com a normativa adotada, os requisitos de diâmetro mínimo de dobra podem variar conforme a função estrutural exercida pela armadura, como por exemplo armadura de tração, estribo ou nó de pórtico.

Não obstante, acredita-se que a recuperação da geometria **implícita** do formato de dobra do componente de armadura (descrita pela curva diretriz, conforme apresentado na subseção 5.2.4.3.4) poderia ser empregada na fabricação digital deste componente, sobretudo em países que não possuem normativas para declaração **explícita** de instruções de dobra por meio de formatos paramétricos padronizado, como o caso brasileiro.

Entretanto, tal abordagem requer uniformidade quanto ao método empregado para descrição da curva diretriz. Apesar do esquema IFC convencionar o uso da entidade **IfcSweptDiskSolid** (ou o subtipo **IfcSweptDiskSolidPolygonal**) para representação geométrica dos componentes de armadura, o método adotado para descrição da geometria do formato de dobra é definido por cada desenvolvedor de software BIM dentro das restrições impostas pelo esquema IFC.

A abordagem apresentada no IFC4 também se demonstra similar a descrição geométrica empregada aos formatos BF2D do padrão BVBS, entretanto ressalta-se que o BVBS considera a face externa do formato do vergalhão para descrição das instruções geométrica.

5.2.5 Representação de processos no esquema IFC

Para modelagem de informações relacionadas ao planejamento do fluxo de trabalho das atividades de construção empregam-se as entidades pertencentes à extensão de processo da camada núcleo IFC (**IfcProcessExtension**). Entre as onze

entidades previstas na atual versão do esquema IFC (BUILDINGSMART, 2016), encontram-se entidades destinadas ao mapeamento de processos (subtipos de **IfcProcess**) e entidades destinadas ao controle dos processos (subtipos de **IfcControl**).

Atividades necessárias à execução ou suporte ao processo de construção são definidas por meio das entidades **IfcTask**, **IfcEvent** e **IfcProcedure**. Essas entidades podem ser relacionadas ao seu respectivo objeto-tipo (**IfcTaskType**, **IfcEventType** e **IfcProcedureType**), de modo a possibilitar o reuso de características comuns a um determinado tipo de processo.

A entidade **IfcTask** representa uma tarefa⁵³, uma unidade de trabalho que possua sequência lógica e cronológica. Inclui, além de atividades de construção e instalação de produtos, ações relacionadas ao processo de projeto, construção e operação sendo o tipo de tarefa indicado pelos valores previstos pela enumeração **IfcTaskTypeEnum**⁵⁴. De acordo com sua complexidade, a tarefa pode ser decomposta em subtarefas (também representadas por entidades **IfcTask**).

O procedimento empregado para realização de uma atividade é descrito com o uso de **IfcProcedure**. Essa entidade é tipicamente empregada em processos escalonados e representa um conjunto lógico de ações que devem ser realizadas em resposta a um evento ou que cause a ocorrência de um evento.

A entidade **IfcEvent** indica uma ocorrência que pode acontecer e desencadear uma ação ou uma resposta, como por exemplo, acionar a execução de um procedimento ou indicar a conclusão de uma tarefa.

Um processo transforma entradas em resultados e consome recursos. Os produtos usados como entradas (subtipos **IfcProduct**) e os recursos consumidos (subtipos **IfcResource**) podem ser atribuídos às entidades de processo através da relação **IfcRelAssignsToProcess**.

A Figura 63 apresenta a representação de tarefas no esquema IFC. O primeiro nível apresenta uma tarefa de resumo (*Summary Task*), utilizada para agrupar as demais tarefas específicas. A relação hierárquica entre tarefas e subtarefas é descrita

⁵³ O dicionário Houaiss define **tarefa** como “qualquer trabalho, manual ou intelectual, que se faz por obrigação ou voluntariamente” e “quantidade de trabalho realizado ou a realizar dentro de um prazo determinado”.

⁵⁴ São previstos pela entidade **IfcTaskTypeEnum** doze enumeradores, como por exemplo, **CONSTRUCTION** (atividades de construção) e **LOGISTIC** (atividades logísticas). Caso as opções predefinidas não permitam identificar o tipo de tarefa aplicável pode-se, opcionalmente, indicá-la por meio do atributo **IfcTask:ObjectType**.

por meio da relação **IfcRelNests**. A sequência lógica entre as entidades de processo (predecessor–sucessor) é modelada pela relação **IfcRelSequence**. Este conceito também se aplica aos eventos ou procedimentos associados a tarefa.

O intervalo temporal das tarefas é descrito pela entidade **IfcTaskTime** (ou **IfcTaskTimeRecurring**, caso a tarefa seja recorrente). No caso de eventos, o momento da ocorrência é descrito pela entidade **IfcEventTime**. Os procedimentos possuem o intervalo temporal definido pelo evento ou tarefa a ele associado.

Figura 63 – Representação de tarefas de acordo com o esquema IFC

Fonte: (BUILDINGSMART, 2016)

Isatto et al. (2000) destacam a interdependência entre o planejamento e o controle. De acordo com estes autores, o planejamento “envolve o estabelecimento de objetivos e a determinação dos procedimentos necessários para atingi-los, sendo eficaz somente quando realizado em conjunto com o controle”.

O controle das atividades de processo é modelado no esquema IFC por meio dos subtipos de **IfcWorkControl**, especificamente com o uso da entidade **IfcWorkPlan** (usada para a modelagem do planejamento ou plano de trabalho) e **IfcWorkSchedule**, entidade usada para a modelagem da programação das tarefas previstas no planejamento. Adicionalmente, emprega-se a entidade de controle **IfcWorkCalendar** para a especificação do período de trabalho (efetivo ou ocioso) considerado na programação das atividades.

Enquanto a duração atribuída a uma tarefa definida por **IfcTask** especifica o prazo necessário à sua execução (determinado, em geral, de acordo com estimativas baseadas em indicadores de produção, cujos valores são particulares a cada agente construtor), a programação definida pela entidade **IfcWorkSchedule** visa especificar o cronograma executivo da obra.

5.2.5.1 Planejamento do lote de produção de armaduras

Consoante ao porte do empreendimento torna-se necessário particionar a estrutura de concreto armado em porções compatíveis ao processo executivo adotado e capacidade produtiva do agente construtor. Segundo Barak et al. (2009), a extensão de cada fase de execução da estrutura (lote de produção) nem sempre possui correlação com a divisão adotada no projeto estrutural.

Tendo como alvo, em geral, a data prevista para concretagem da estrutura, o planejamento executivo de cada lote de produção (representado no esquema IFC por meio da entidade **IfcWorkPlan**) deve considerar a interdependência entre os subsistemas (serviços) que compõem a estrutura de concreto armado (fôrmas, armação, concreto e embutidos), sendo que cada subsistema também possui uma programação específica (**IfcWorkSchedule**) e uma série de tarefas associadas.

Na Figura 64 apresenta-se a proposta do autor para modelagem do fluxo de trabalho típico do serviço de armação com base no esquema IFC. Cada lote de produção do subsistema de armadura (representado pela atividade de resumo **IfcTask:Lote de produção**) possui um conjunto de subtarefas sequenciais associadas com a atividade principal e, além da sequência lógica, datas de início e fim alocadas.

A definição de cada fase do serviço de armação (pacote de trabalho) deve prever os prazos necessários à pré-montagem da armaduras, posicionamento e montagem final, de forma coordenada com os demais subsistemas da estrutura de concreto armado.

Figura 64 – Modelagem do planejamento da produção de armaduras no IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez definidos os limites de cada fase executiva, procede-se com a atribuição do conjunto de componentes relacionados ao respectivo lote de produção de armadura. A associação das peças de armadura (**IfcReinforcingBar**) à entidade de processo correspondente é modelada por meio da relação **IfcRelAssignToProcess**.

A Figura 65 expõem a proposta do autor para a definição do lote de produção de armadura baseado no esquema IFC. Embora as peças de armadura possam ser associadas diretamente à tarefa de recebimento e estocagem do aço pré-processado (última etapa da CPACD), optou-se por representá-la como uma atividade independente de modo a apresentar como os procedimentos e eventos empregado podem ser declarados por meio esquema IFC.

Figura 65 – Definição do lote de produção de armaduras com base no IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

A entrega do aço pré-processado no canteiro de obras representa a última etapa realizada pelo fabricante de aço cortado e dobrado e o início das atividades a serem realizadas em campo pelo agente construtor.

Seu recebimento e estoque caracteriza-se por um conjunto de ações logísticas, internas ao canteiro de obras, que precedem ao serviço de armação. Deve atender aos requisitos previstos na norma brasileira NBR 14931 (ABNT, 2004), quanto ao armazenamento dos materiais, e a norma NBR 7480 (ABNT, 2007), quanto a inspeção do recebimento dos vergalhões.

Na Figura 66 apresenta-se como a atividade de recebimento e estocagem do aço pré-processado pode ser descrita de acordo com a especificação IFC. A entrega do aço no canteiro de obras (representada pela entidade **IfcEvent:Recebimento do aço em campo**) corresponde à data de entrega a ser indicada na formalização do pedido entregue ao prestador de serviços de corte e dobra. Este evento também marca o início do processo de recebimento e estoque do aço pré-processado.

Figura 66 – Modelagem do recebimento e estoque do aço pré-processado de acordo com o IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.6 Representação do pedido no esquema IFC

A entidade **IfcProjectOrder** representa uma diretiva para a realização de um serviço ou compra de um produto, sendo tipicamente associada a contratos formais entre duas organizações (BUILDINGSMART, 2016). Trata-se de uma entidade de controle pertencente a **IfcSharedMgmtElements** e subtipo da entidade abstrata **IfcControl**.

A Figura 67 representa, esquematicamente, os atributos previstos pela entidade **IfcProjectOrder** bem como demais atributos herdados por essa entidade. Além do identificador global único e demais atributos de identificação declarados por seu supertipo **IfcRoot**, pode-se indicar o código de identificação do pedido (**Identification**) bem como discriminar detalhadamente o conteúdo da solicitação de compra ou serviço por meio do atributo **IfcProjectOrder:LongDescription**, incluído na versão IFC4.

Figura 67 – Entidade IfcProjectOrder

Fonte: Elaborado pelo autor

O atributo opcional **IfcProjectOrder:PredefinedType** estabelece o tipo de solicitação com base nos valores predefinidos pela entidade (enumeração) **IfcProjectOrderTypeEnum**.

Entre as opções previstas, pode-se declarar uma ordem de compra de um bem ou serviço (**PURCHASEORDER**) ou uma instrução para realização de um serviço (**WORKORDER**). Eventuais alterações podem ser associadas à ordem de compra originária, por meio da relação **IfcRelNest**, sendo indicadas pelo valor da **CHANGEORDER**.

Para controle e acompanhamento de cada ordem de compra, pode-se associar, opcionalmente, um indicador de estado por meio do atributo **IfcProjectOrder:Status**, indicando, por exemplo, se o pedido se encontra em fase de planejamento, se o mesmo foi aprovado, emitido ou finalizado.

A associação entre a entidade **IfcProjectOrder** e respectivos produtos, processo ou recursos (subtipos de **IfcObject**), é modelada por meio da relação **IfcRelAssignsToControl**.

Também podem ser indicados na solicitação informações adicionais por meio de conjunto de propriedades, como por exemplo, qual o método de transporte será utilizado para entrega do pedido (**Pset_ProjectOrderPurchaseOrder:ShipMethod**) ou se o frete e eventuais custos de seguro são de responsabilidade do fornecedor (**Pset_ProjectOrderPurchaseOrder:IsFOB**)

5.2.6.1 Solicitação do fornecimento do aço cortado e dobrado

A Figura 68 apresenta a proposta do autor para solicitação do pedido de fornecimento de aço por meio do esquema IFC. Com base na data de entrega estipulada pelo planejamento executivo da obra, cabe ao funcionário designado pelo agente construtor (**IfcPersonAndOrganization**) formalizar a solicitação do pedido de aço pré-processado junto à empresa prestadora de serviço de corte e dobra, considerando os prazos de antecedência definidos em comum acordo com o fabricante.

Consiste em atribuir a cada lote de produção de armaduras uma diretiva (ordem de compra, descrita pela entidade **IfcPurchaseOrder**) para que a empresa beneficiadora de aço inicie a produção do respectivo lote.

Também deve ser indicada a organização que está emitindo o pedido (**IfcActor:CONTRACTOR**) e quem será contratado para cumprir o pedido (**IfcActor:FABRICATOR**).

Figura 68 – Solicitação do aço pré-processado de acordo com o esquema IFC

Fonte: Elaborado pelo autor

5.3 DOCUMENTAÇÃO MVD

Para a documentação do presente MVD em versão interpretável por computadores (mvdXML) utilizou-se a ferramenta ifcDoc 11.5 (BUILDINGSMART-TECH, 2017). As informações necessárias à especificação do MVD foram mantidas em inglês, consoante ao idioma⁵⁵ adotado pela buildingSMART para documentação MVD/IFC.

O processo empregado para a documentação mvdXML resume-se a duas etapas principais:

- Especificação dos modelos de requisitos de troca relacionados ao MVD, conforme definições previstas pelo IDM;
- Seleção das entidades IFC necessárias (conceito-raiz) e especificação dos conceitos e regras aplicáveis a cada entidade, de modo a atender aos requisitos de troca definidos por cada ERM (referência aos conceitos-modelo e aplicação de regras ou restrição de uso).

Conforme recomendado pela buildingSMART, buscou-se reutilizar os conceitos-modelo já documentados e incluídos no arquivo base IFC4 *Addendum 2 Baseline* (BUILDINGSMART-TECH, 2016).

O ANEXO B relaciona os conceitos-modelo pré-definidos pela buildingSMART e considerados no desenvolvimento deste MVD. Sua nomenclatura segue a mesma terminologia empregada no capítulo 4 (*Fundamental concepts and assumptions*) da documentação do esquema IFC4 sendo também indicado o respectivo código de identificação e entidade IFC aplicável.

A origem *General Usage* indica os conceitos-modelo de uso geral provenientes da documentação IFC4 *Addendum 2* (BUILDINGSMART, 2016) enquanto a origem *Reference View* indica os conceitos-modelo definidos pelo IFC4 *Reference View 1.1* (BUILDINGSMART, 2017)

---

⁵⁵ Embora os termos e conceitos contidos na especificação IFC sejam definidos no idioma inglês pode-se, adicionalmente, indicar sua nomenclatura em outros idiomas (sobretudo para a descrição dos conjuntos de propriedades IFC). A nomenclatura e descrição traduzida baseia-se na norma ISO 12006-3 e no dicionário de termos “*buildingSMART Data Dictionary*” (bsdd), terceiro pilar do modelo de interoperabilidade buildingSMART.

Deste modo, optou-se por manter as definições dos conceitos, conceitos-modelo e entidades IFC em seu idioma nativo sendo incluída na documentação deste MVD apenas a descrição dos modelos de requisito de troca no idioma português.

Ademais, tornou-se necessária a definição de conceitos-modelo específicos aos requisitos previstos neste MVD. Buscou-se, sempre que possível, defini-los como submodelos⁵⁶ associados a um dos conceitos-modelos pré-definidos pela buildingSMART. No Quadro 19 encontram-se relacionados os conceitos-modelo elaborados no contexto do presente trabalho. As definições previstas para cada conceito-modelo estão incluídas no APÊNDICE A.

Quadro 19 – Conceitos-modelo específico ao presente MVD

Conceito-modelo / <i>mvd:ConceptTemplate</i>	Entidade aplicável
Atributos do empreendimento / * <i>Project Attributes</i>	IfcProject
Atributos dos Agentes / * <i>Actors Attributes</i>	IfcActor
Identificação dos elementos estruturais / * <i>Structural elements identity</i>	IfcElement
Identificação da armadura / * <i>Rebar cage identity</i>	IfcElementAssembly
Contatos * <i>Stakeholder identity</i>	IfcPersonAndOrganization
Identificação da pessoa / * <i>Person identity</i>	IfcPerson
Identificação da empresa / * <i>Organization identity</i>	IfcOrganization
Endereço Postal / * <i>Postal Address</i>	IfcPostalAddress
Endereço eletrônico / * <i>Telecom Address</i>	IfcTelecomAddress
Atribuição do agente / * <i>Assignment to Actor</i>	IfcActor
Atributos do pedido / * <i>ProjectOrder attributes</i>	IfcProjectOrder

Fonte: Elaborado pelo autor

Inicialmente, procedeu-se à documentação dos três modelos de requisitos de troca previstos pelo IDM, descritas na subseção 5.1.4. A Figura 69 apresenta o procedimento empregado para documentação destas informações por meio da ferramenta ifcDoc. O primeiro passo consistiu na declaração do presente MVD dentro do escopo do mvdXML e suas informações de identificação. Optou-se pelo nome *Rebar Fabrication View* (Vista para Fabricação de Vergalhões).

Em seguida, foram incluídos os três modelos de requisito de troca relacionados: *er_Fab_A (Reinforcing Bars Detailed Model)*, *er_rFab_B (Reinforcement Placement Sequence)* e *er_rFab_C (Cut & Bent Rebar Fabrication Order)*. A cada modelo de requisito de troca também foram atribuídas informações de identificação da fase do ciclo de vida de agentes responsáveis.

⁵⁶ Submodelos (*SubTemplates*) são conceitos-modelo que estendem a definição de um conceito-modelo principal (*mvd:ConceptTemplate*). São usados para agrupar conceitos-modelo relacionados (CHIPMAN; LIEBICH; WEISE, 2016).

Adicionalmente foram declaradas as atividades previstas no IDM (item 3 da Figura 69) bem como qual o modelo requerido pelo processo (modelo a ser importado) e qual o modelo resultante (modelo exportação).

Figura 69 – Cadastro do MVD na ferramenta ifcDoc

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ferramenta ifcDoc (BUILDINGSMART-TECH, 2017)

Em seguida, foram selecionadas as entidades IFC necessárias ao contexto do presente MVD. Para cada entidade IFC considerada (ou seja, a cada conceito-raiz **mvd:ConceptRoot**) foram incluídos um conjunto de conceitos de uso relacionados. A atribuição de conceitos à entidade IFC aplicável consiste em selecionar um dos conceitos-modelo previamente definidos (unidade funcional genérica, relacionada a entidade IFC aplicável ou seu supertipo abstrato).

Na Figura 70 apresenta-se a caixa de diálogo utilizada para seleção de um conceito-modelo (um **mvd:ConceptTemplate**) por meio da ferramenta ifcDoc. São listados apenas os conceitos-modelo relacionados ao respectivo conceito-raiz, neste exemplo, relacionados aos supertipos abstratos de **IfcProject** como **IfcRoot**, **IfcObjectDefinition** e **IfcContext**.

Figura 70 – Caixa de diálogo para seleção de conceitos-modelo na ferramenta ifcDoc

Fonte: ifcDoc 11.5 (BUILDINGSMART-TECH, 2017)

Por fim foram atribuídas as regras e restrições de uso aos conceitos associados a cada uma das entidades IFC previstas neste MVD. A Figura 71 apresenta o procedimento adotado para a atribuição de entidades IFC, conceitos e regras aos requisitos de troca do presente trabalho. Adotou-se como exemplo o conceito-modelo “Identificação da organização” (**Organization Identify**).

Embora este conceito-modelo determine que empresas, quaisquer que forem, possuem um nome (**Name**), função (**HasRole**), endereços de contato físico e eletrônico (**HasAddress**; **HasContacts**) e, opcionalmente, uma descrição (**ProjectDescription?**) o conceito-modelo não especifica quais dessas informações são obrigatórias ou opcionais para um determinado requisito de troca. Somente quando este conceito-modelo é incluído no contexto de uma entidade IFC e são definidas regras e restrições de uso, tem-se um conceito definido e específico ao MVD em questão.

Deste modo, foram realizadas as seguintes etapas (segundo a ordem exposta na Figura 71) para o cadastro das informações na ferramenta ifcDoc:

1. Seleção do conceito raiz aplicável (**mvd:ConceptRoot**): entidade **IfcOrganization**
2. Referência ao conceito-modelo aplicável (**mvd:ConceptTemplate**): conceito-modelo *Organization Identify*;
3. Conceito específico (**mvd:Concept**): conceito *Order stakeholders* (intervenientes do pedido)

4. Definição de regras ao uso pretendido (*TemplateRules*): tipo de regra, por exemplo, se é uma regra obrigatória ou opcional e indicação se todas as regras devem ser atendidas conjuntamente ou se trata de opções possíveis ao atendimento da regra;
5. Especificação das regras e restrições aplicáveis (*AttributeRules*): campos de atributos obrigatórios ou opcionais (item 5.a), restrições de uso e entidades IFC aplicáveis (itens 5.b e 5.c, respectivamente);
6. Associação do conceito definido ao requisito de troca aplicável (*Requirement Applicability*): Indicação se o conceito definido é obrigatório, recomendado (opcional) ou não aplicável a cada um dos requisitos de troca previstos no MVD.

Figura 71 – Atribuição de regras de uso aos conceitos selecionado

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ferramenta ifcDoc (BUILDINGSMART-TECH, 2017)

O APÊNDICE B apresenta a documentação MVD desenvolvida no presente trabalho. As informações foram geradas por meio da ferramenta ifcDoc e seguem a mesma ordem empregada no capítulo 1 (Scope) da documentação do esquema IFC.

Embora foram geradas a documentação para cada um dos três modelos de requisito de troca incluídos neste MVD, limitou-se a apresentar o último modelo de requisito de troca (er_rFab_C) o qual sintetiza os requisitos de troca do fabricante. Apresentam-se as seguintes informações (conforme sequência exposta na Figura 72):

1. As entidades IFC previstas por cada modelo de requisito de troca;
2. Conjunto de conceitos-modelo associados a cada entidade IFC;
3. Atributos previstos por cada conceito-modelo associado;
4. Regras e restrições de uso para cada conceito;
5. Indicação dos conceitos requeridos (R) ou opcionais (O) para a importação ou exportação de modelos que atendam aos requisitos previstos por este MVD.

Figura 72 – Atribuição de regras de uso aos conceitos selecionado

Data Requirements for IFC formats						
5 Reinforcement Fabrication Order						
Entity/Concept	Attributes	Constraints			I	E
1 IfcReinforcingBar		4				
2 Object Typing	3 IsTypedBy PredefinedType	Has Type	Relating Type	Type Name	R	R
		IfcRelDefinesByType	IfcReinforcingBarType			
* Reinforcing Bar Attributes	Tag Name Description IsTypedBy	Name	Description	HasRebarType Assigned	R	R
				IfcReinforcingBarType		

Fonte: Elaborado pelo autor

6 VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA

De modo a analisar a viabilidade para a interface digital dos requisitos necessários à produção industrial de aço cortado e dobrado por meio do esquema de dados IFC, propôs-se a elaboração de um modelo de teste para validação da solução técnica proposta na seção 5.

Esta etapa teve como objetivos analisar: o atual suporte das ferramentas de autoria BIM à exportação de componentes de armadura no formato IFC4; a viabilidade para recuperação dos dados necessários à produção industrial de aço cortado e dobrado, contidos em um arquivo IFC, e; o uso da ferramenta ifcDoc para a validação dos requisitos de troca necessários.

Adicionalmente, buscou-se analisar a interface projeto-produção de aço cortado e dobrado empregada no projeto usado como referência ao modelo de teste.

Inicialmente, foram contatados⁵⁷ provedores de soluções BIM destinadas ao projeto de detalhamento de armaduras (modelagem do produto), planejamento construtivo (modelagem do processo) e processo de compra (modelagem do pedido) em busca de ferramentas comerciais que possuísem suporte à exportação e importação de dados no padrão IFC4.

Constatou-se que, embora o processo de certificação IFC4 tenha iniciado recentemente⁵⁸ e ainda não existam ferramentas certificadas oficialmente pela buildingSMART, algumas ferramentas BIM destinadas a modelagem do produto possuíam suporte à exportação de arquivos no formato IFC4.

Deste modo, foram selecionadas três ferramentas de autoria BIM voltadas ao desenvolvimento de projetos de detalhamento de armaduras e solicitado aos respectivos representantes a disponibilização de uma versão acadêmica⁵⁹ para o desenvolvimento do modelo de teste. As ferramentas selecionadas foram: Allplan Engineering 2017 (NEMETSCHEK, 2017); Revit 2018.2 (AUTODESK, 2017); Tekla Structures 2017i (TRIMBLE, 2017).

---

⁵⁷ O contato com os provedores de soluções BIM ocorreu entre o período de janeiro de 2016 e junho de 2017, deste modo excluem-se eventuais ferramentas lançadas posteriormente a esta data.

⁵⁸ Embora a versão IFC4 tenha sido publicada em 2013, o processo de certificação oficial, promovido pela buildingSMART, iniciou-se em 26 de junho de 2017 (BUILDINGSMART INTERNATIONAL, 2017).

⁵⁹ Foi cedida pela empresa Trimble uma versão completa do software Tekla Structures 2017i para a realização dos testes durante o desenvolvimento do presente trabalho.

6.1 PROJETO DE REFERÊNCIA: ESTUDO DE CASO

O modelo de teste teve como referência o projeto de uma Obra de Arte Especial (OAE) destinada a infraestrutura ferroviária. A escolha desta tipologia teve como influência a representatividade do subsistema de armaduras neste tipo de empreendimento (quando comparado com obras do setor de edificações) bem como o alinhamento às iniciativas promovidas pela buildingSMART para extensão do esquema IFC ao segmento de infraestruturas. Também se considerou o fato deste empreendimento adotar o fornecimento industrial de aço pré-processado, tipo de fornecimento nem sempre viável em obras de infraestrutura por questões logísticas.

A Figura 73 apresenta o empreendimento considerado para o desenvolvimento do modelo de teste. Limitou-se o estudo às três aduelas de concreto armado localizadas no vão central deste viaduto estaiado, especificamente as duas últimas aduelas centrais e a aduela de fechamento. Na Figura 74 apresenta-se a seção transversal das aduelas consideradas neste trabalho.

Figura 73 – Perfil longitudinal da OAE e delimitação do modelo de teste proposto

Fonte: Projeto de referência

Figura 74 – Seção das aduelas consideradas no modelo de teste proposto

Fonte: Projeto de referência

Paralelamente ao desenvolvimento do modelo de teste, foram entrevistados representantes do consórcio construtor com o objetivo de conhecer o procedimento adotado para a requisição do aço junto ao fabricante de aço cortado e dobrado.

Segundo o agente construtor, o processo de pedido do aço adotado consiste em encaminhar à empresa prestadora de serviço de corte e dobra o conjunto de desenhos que contenha o PDA da respectiva aduela juntamente com o formulário de pedido de compra, informando a identificação de qual elemento estrutural deverá ser produzido e datas de entrega definida em função do planejamento executivo da obra.

Ainda segundo este agente, com base no PDA, a empresa prestadora de serviço de corte e dobra procede com a análise de quais as peças de armadura compõem o lote definido no pedido e realiza a transcrição das informações dos componentes a serem produzidos (planilhamento). O relatório contendo as informações geradas no planilhamento são encaminhadas à construtora para sua validação antes do início da produção.

A Figura 75 apresenta um exemplo de desenho de detalhamento de armaduras incluídos no PDA. As informações referem-se ao detalhamento da armadura da laje superior e consideram todo o trecho lateral (esquerdo ou direito) de um dos mastros do viaduto estaiado. Deste modo, tanto a lista de peças de armaduras quanto a tabela de resumo de aço contemplam todo o trecho abordado.

Figura 75 – Área de influência de uma das aduelas consideradas no modelo de teste

Fonte: Destaques incluídos pelo autor com base no projeto de referência

A análise do PDA também expõe alguns dos problemas apontados na subseção 5.1.1.2 que, de acordo com Ferreira e Santos (2007), são inerentes às limitações da representação bidimensional. O detalhamento da armadura de cada aduela bem como algumas peças de armadura necessárias à interface com outros elementos estruturais encontra-se distribuídos em diversos desenhos.

Assim como destacado por Araújo (2005), o PDA empregado pelo mercado brasileiro condensa em um documento único as informações necessárias à especificação do produto (requeridas pelo fabricante) e destinadas a subsidiar o processo de armação. Não obstante, não há distinção quanto ao tipo de fornecimento de aço que será adotado no empreendimento, se o aço será processado em campo ou em ambiente industrial.

O processo empregado para a solicitação do aço pré-processado neste empreendimento reafirma o fluxo apresentado na subseção 5.1.1.1. Também corrobora a constatação exposta pelos prestadores de serviço de corte e dobra que participaram desta pesquisa, de que a transcrição das informações do PDA consome parte considerável do prazo necessário ao processo industrial de corte e dobra.

6.2 MODELAGEM DO PDA: MODELO DE TESTE DE PRODUTO

Com base no projeto de referência, procedeu-se ao desenvolvimento do modelo de detalhamento de armaduras por meio das ferramentas de autoria BIM selecionada (primeiro modelo de troca, destinado à especificação do produto).

Previamente a modelagem do PDA, tornou-se necessária a modelagem dos elementos estruturais que iriam hospedar as armaduras. Nas figuras 76, 77 e 78 apresentam-se os resultados da modelagem das aduelas⁶⁰ desenvolvidas respectivamente por meio da ferramenta Allplan Engineering, Revit e Tekla Structures.

---

⁶⁰ Com exceção da ferramenta Allplan Engineering (a qual possui um módulo específico para o desenvolvimento de OAE), constatou-se que embora as demais ferramentas selecionadas possuam suporte ao desenvolvimento de projetos de estruturas de concreto armado, o uso aplicado à modelagem da OAE abordada neste trabalho requer o desenvolvimento prévio de componentes BIM específicos a este uso.

Figura 76 – Aduela desenvolvida com o uso da ferramenta Allplan Engineering 2017

Fonte: Modelo elaborado pelo autor

Figura 77 – Aduela desenvolvida com o uso da ferramenta Revit 2018.2

Fonte: Modelo elaborado pelo autor

Figura 78 – Aduela desenvolvida com o uso da ferramenta Tekla Structures 2017i

Fonte: Modelo elaborado pelo autor

Após a modelagem dos elementos estruturais optou-se por modelar parcialmente a armadura da aduela nas três ferramentas selecionadas, de modo a subsidiar a análise do suporte destas ferramentas à exportação de armaduras no formato IFC4. Nas figuras 79, 80 e 81 apresentam-se as modelagens das armaduras da laje superior da aduela por meio da ferramenta Allplan Engineering, Revit e Tekla Structures, respectivamente.

Figura 79 – Modelagem parcial da armadura com o uso da ferramenta Allplan Engineering 2017

Fonte: Modelo elaborado pelo autor

Figura 80 – Modelagem parcial da armadura com o uso da ferramenta Revit 2018.2

Fonte: Modelo elaborado pelo autor

Figura 81 – Modelagem parcial da armadura com o uso da ferramenta Tekla Structures 2017i

Fonte: Modelo elaborado pelo autor

Como resultado, constatou-se que embora as três ferramentas de autoria BIM selecionadas já tenham iniciado o desenvolvimento de exportadores compatíveis com o IFC4, algumas funções previstas por essa versão do esquema IFC ainda não foram completamente implementadas.

No caso da ferramenta Allplan Engineering 2017, verificou-se que apesar de possuir suporte parcial à exportação de arquivos em formato IFC4, a exportação dos componentes de armadura ainda não foi implementada nesta versão.

Já no caso das ferramentas Revit 2018.2 e Tekla Structures 2017i, verificou-se que tais ferramentas possuem suporte a exportação de armaduras no formato IFC4. Entretanto, ao analisar os arquivos gerados por meio da ferramenta ifcDoc nota-se que algumas definições previstas no esquema IFC4 encontram-se parcialmente implementadas.

Na Figura 82 e Figura 83 apresentam-se os resultados extraídos da ferramenta ifcDoc 11.5 na validação dos modelos de teste gerados pelos Revit 2018.2 e Tekla Structures 2017i. Limitou-se a análise aos componentes e peças de armadura (entidades **IfcReinforcingBar** e **IfcReinforcingBarType**) contidos nos arquivos IFC. A verificação realizada pela ferramenta ifcDoc teve como base os requisitos previstos pelo MVD IFC4 *Reference View* 1.1 (BUILDINGSMART, 2017), mesmo MVD⁶¹ empregado na exportação dos arquivos IFC pelas respectivas ferramentas de autoria BIM.

Adicionalmente, o conteúdo dos arquivos IFC relacionados à representação de armaduras também foi analisado pontualmente pelo presente autor.

Constata-se que, apesar da ferramenta Revit 2018.2 já utilizar o conceito de objeto-tipo na definição de características comuns a um determinado tipo de objeto (como no caso dos elementos construtivos), tal funcionalidade ainda não está implementada aos componentes de armadura sendo cada componente representado por uma entidade **IfcReinforcingBar** e as peças posteriormente agrupadas por meio da entidade **IfcGroup**.

---

⁶¹ De modo a manter a coerência com o MVD utilizado na exportação dos arquivos, empregou-se o MVD IFC4 *Reference View* 1.1 para a validação por meio da ferramenta ifcDoc 11.5.

Destaca-se que o resultado desta validação também pode ser estendido ao MVD IFC4 *Design Transfer View* 1.0 (BUILDINGSMART, 2014) visto que as definições previstas para entidade **IfcReinforcingBar** são idênticas a ambos MVD's

No caso da ferramenta Tekla Structures 2017i, embora já esteja implementado o uso do objeto-tipo **IfcReinforcingBarType**, identificou-se que a definição dos atributos relacionados ao componente de armadura não é declarada no contexto deste objeto-tipo. No caso do diâmetro nominal, por exemplo, sua declaração permanece vinculada a ocorrência **IfcReinforcingBar**. Também se verificou que algumas propriedades e quantitativos são declaradas por meio de propriedades unitárias (**IfcPropertySingleValue**), embora existam entidades previstas pelo IFC4 destinadas a declaração destas informações.

Figura 82 – Validação do modelo de teste gerado pela ferramenta Revit 2018.2

Fonte: Elaborado pelo autor por meio da ferramenta ifcDOC 11.5

Figura 83 – Validação do modelo de teste gerado pela ferramenta Tekla Structures 2017i

Fonte: Elaborado pelo autor por meio da ferramenta ifcDOC 11.5

Apesar das três ferramentas consideradas nesta análise utilizarem a entidade **IfcSweptDiskSolid** para representação geométrica da armadura identificou-se que as ferramentas supracitadas adotam distintas abordagens para descrição do formato do componente de armadura (declaração da curva diretriz). No Quadro 20 apresenta-se o método empregado pelas ferramentas de autoria BIM abordadas neste trabalho para descrição da curva diretriz segundo levantamento realizado pelo autor.

Quadro 20 – Método adotado para representação geométrica de componentes de armadura pelas ferramentas BIM selecionadas

Item	Autodesk Revit 2018.2	Tekla Structures 2017i	Allplan Engineering 2017
Vergalhão	IfcReinforcingBar	IfcReinforcingBarType	IfcReinforcingBar
Representação	IfcSweptDiskSolid	IfcSweptDiskSolid	IfcSweptDiskSolid
Curva diretriz	IfcCompositeCurve	IfcIndexedPolycurve	IfcPolyline
Segmento de reta	IfcCompositeCurveSegment + IfcPolyline	IfcLineIndex	IfcCatersianPoint
Segmento de arco	IfcCompositeCurveSegment + IfcTrimmedCurve	IfcArcIndex	
Versão IFC	IFC 4 RV / IFC4 DTV	IFC 4 RV / IFC4 DTV	IFC 2x3 CV

Fonte: Elaborado pelo autor

6.3 PROGRAMAÇÃO DO MODELO DE TESTE INTEGRADO

Face às limitações encontradas no desenvolvimento do modelo de teste por meio de ferramentas BIM comerciais⁶², optou-se pela criação manual, em formato IFC4, de um modelo de teste integrado (produto, processo e pedido) que atendesse aos objetivos do presente trabalho.

Embora tenha-se tentado manter o escopo inicial, de modo a viabilizar a análise de dois pedidos de fornecimento de aço pré-processado, o processo de criação manual mostrou-se extremamente lento e trabalhoso.

Deste modo foram adotadas algumas simplificações como restringir a modelagem apenas à aduela de fechamento central e às peças de armadura localizadas na laje de fundo, vigas laterais e viga central. Entende-se que tais simplificações não afetam os objetivos para validação da solução técnica proposta.

A Figura 84 apresenta as informações (entidades) necessárias à definição de um componente de armadura em formato IFC4. Na linha #750, encontra-se descrito o objeto-tipo e os atributos necessários a definição de um formato de vergalhão (neste caso, uma barra reta de diâmetro 16mm, seção transversal de 201,1mm², superfície nervurada e com dois metros de comprimento).

A linha #751 declara o sistema de coordenadas e a representação geométrica (ou representações, caso aplicável) que será mapeada posteriormente na composição das peças de armadura. A linha #752 identifica o tipo de representação geométrica empregado (representação sólida tridimensional por varredura). O tipo de sólido adotado encontra-se descrito na linha #753 (varredura de um disco de raio 8mm e curvatura de 40mm entre os vértices dos segmentos retos).

A seguir é descrita a curva diretriz (geometria do componente de armadura) que neste exemplo, é definida por meio de uma polilinha (linha #754) e por dois pontos no espaço tridimensional (#755 e #756).

Por fim, tem-se a declaração (linha #757) deste componente de armadura no contexto do projeto (**IfcProject**) ou em uma biblioteca de objetos (**IfcProjectLibray**). No presente trabalho, ela é declarada no contexto de uma biblioteca de objetos.

---

⁶² Durante o período de desenvolvimento deste trabalho, não foram encontradas ferramentas de BIM comerciais que suportassem a exportação do modelo de teste proposto aos requisitos de troca de processos e pedido em formato IFC4.

Figura 84 – Definição de um componente de armadura por meio da programação IFC4 manual

```

/* ----- Posição 1 - (Formato Tipo 1 IFC) ----- */
#750= IFCREINFORCINGBARTYPE('2XUAmY4A90wvy9$_yKvOt6', $, 'T.1', $, $, $, (#751), $,
    $, .MAIN., 16., 201.1, 2000., .TEXTURED., $, $);
#751= IFCREPRESENTATIONMAP(#8, #752);
#752= IFCSHAPE REPRESENTATION(#9, 'Body', 'AdvancedSweptSolid', (#753));
#753= IFCWEPTDISKSOLIDPOLYGONAL(#754, 8., $, $, $, 40.);
#754= IFCPOLYLINE((#755, #756));
#755= IFCCARTESIANPOINT((0., 0., 0.));
#756= IFCCARTESIANPOINT((2000., 0., 0.));
#757= IFCRELDECLARES('92mLgo7rv40PPW7Qsrp_wX', $, $, $, #701, (#750));
/* ----- */

```

Fonte: Elaborado pelo autor

Paralelamente a criação do modelo de teste foi utilizada a ferramenta ifcDOC para a depuração do arquivo IFC em desenvolvimento. Esta prática comprovou a utilidade desta ferramenta na depuração de exportadores IFC (ZOLFAGHARIAN, 2016), assim como no refinamento do MVD proposto. A Figura 85 apresenta uma das verificações realizadas ao longo do desenvolvimento do modelo.

Figura 85 – Processo de depuração do modelo de teste por meio da ferramenta ifcDOC

Fonte: Tela extraída da ferramenta ifcDOC

Considerando as simplificações adotadas, foram inseridos no modelo de teste cerca de 1400 linhas com o conteúdo necessário ao último modelo de troca considerado no escopo deste trabalho (EM.C: Modelo de pedido de aço cortado e dobrado) A Figura 86 apresenta uma vista do modelo de teste a partir de um visualizador de arquivos IFC.

Figura 86 – Vista do modelo de teste por meio do visualizador de arquivos IFC

Fonte: Tela extraída da ferramenta FZK Viewer

6.4 RECUPERAÇÃO DOS DADOS DO MODELO IFC

Ainda que de modo preliminar, buscou-se verificar a viabilidade prática para a recuperação dos requisitos de troca do pedido, tendo como cenário o modelo de testes armazenado em um servidor BIM. Optou-se por utilizar o servidor de código aberto BIMserver (BIMSERVER, 2018) .

Os testes iniciais demonstraram que, apesar do servidor BIMserver possuir suporte ao esquema IFC4, o mesmo não suportava algumas atualizações incluídas na versão IFC4 Add.1. Face a este problema, foram necessárias alterações no modelo de teste, especificamente o uso da entidade **IfcPolyline** para representação da curva diretriz no local da entidade **IfcIndexedPolyCurve** empregada na abordagem inicial, de modo a torná-lo compatível⁶³ com o IFC4 versão ISO 16739:2013.

Ressalta-se que o presente autor, por não possuir conhecimentos específicos em programação, limitou-se à arquitetura dos dados a serem recuperados sendo a programação realizada gentilmente por seu orientador com o emprego da ferramenta IfcOpenShell.

A Figura 87 apresenta um exemplo de linhas de programação desenvolvida por meio do módulo IfcOpenShell-Python e utilizada para recuperação de dados declarados diretamente em uma entidade IFC.

Figura 87 – Recuperação de dados de identificação do pedido

```
/* ----- */
#1 Data - Identidade do Empreendimento
projeto = file.by_type("IfcProject")
output.write("Identidade do Empreendimento:"+projeto[0].Name+'\n')
/* ----- */
```

Fonte: Fabiano Rogério Corrêa

Nas figuras 88, 89 e 90 são apresentados o diagrama de instanciação proposto para recuperação dos dados de do modelo de teste.

⁶³ Embora o servidor BIMserver tenha reconhecido o modelo de teste, e tenha sido possível o acesso as informações contidas no modelo, não foi possível a renderização do modelo por este servidor.

Figura 88 – Diagrama de instanciação dos requisitos de identificação

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 89 – Diagrama de instanciação dos requisitos do pedido e processo

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 90 – Diagrama de instanciação dos requisitos do produto

Fonte: Elaborado pelo autor

Constatou-se que a recuperação dos dados apresenta três graus de dificuldade:

- 1) requisitos declarados como atributos na própria entidades;
- 2) requisito declarados por como atributos em entidades relacionada;
- 3) processamento da geometria.

Adicionalmente, verificou-se a viabilidade de extrair as informações necessária a compor um arquivo no padrão BVBS. Foi utilizado como referência o mapeamento dos atributos BVBS para o esquema IFC (Figura 91), proposto Maciel e Corrêa (2016).

A Figura 92 apresenta o resultado dos testes preliminares para a recuperação dos dados do modelo IFC, considerando a geometria implícita dos componentes de armadura para composição das instruções de fabricação em padrão BVBS.

Figura 91 – Diagrama de instanciação dos requisitos BVBS

Fonte: (MACIEL; CORRÊA, 2016)

Figura 92 – Resultado dos testes para a recuperação dos dados do modelo IFC

```

Processamento_IFC.txt - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
Identidade do Empreendimento:OAE
Identificação do Local:Nome do Site
Endereço de entrega:Av. Prof. Almeida Prado n.83
Travessa 2
Cidade Universitaria
Cidade:Sao Paulo
Estado:SP
CEP:05508-900
País:Brasil
Identificação da torre:Nome da Obra
Pedido: 12001
BVBS: BF2D@HJOAE@rBB-9255-0@iR.01@pN.12@17490.0@e25.0@gCA-50@G17490.0@w0
BVBS: BF2D@HJOAE@rBB-9255-0@iR.01@pN.5@19940.0@e20.0@gCA-50@G1365.58@w-90.0@G12504.6
BVBS: BF2D@HJOAE@rBB-9255-0@iR.01@pN.2@11010.0@n32.0@d79.65@e20.0@gCA-50@G1130.0@w-9
BVBS: BF2D@HJOAE@rBB-9255-0@iR.01@pN.13@17740.0@e32.0@gCA-50@G17740.0@w0

```

Fonte: Fabiano Rogério Corrêa

7 RESULTADOS

A seguir, apresenta-se a análise dos resultados, os quais também expõem o atendimento aos objetivos específicos da pesquisa. São expostas algumas considerações e sugestões aos tópicos abordados ao longo da pesquisa.

7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os métodos IDM e MVD demonstram ser efetivos para a abordagem do segundo requisito necessário à interoperabilidade, o uso das informações trocadas. Verifica-se que, apesar de já possuírem treze anos de desenvolvimento sob a coordenação da buildingSMART, tratam-se de dois métodos em evolução.

De modo a subsidiar o desenvolvimento deste trabalho, buscou-se incorporar as recentes inovações propostas pela revisão da norma ISO 29481-1 e método mvdXML, ambas publicada em 2016.

Ressalta-se que tais atualizações ainda não se encontram incorporadas ao método integrado oficial buildingSMART e que algumas considerações adotadas pelo presente autor podem apresentar pequenas variações em comparação a sua futura revisão.

Embora o método mvdXML e a ferramenta empregada em sua documentação (ifcDoc) possuam alguns trabalhos publicados que embasaram o desenvolvimento desta pesquisa (apesar de grande parte ainda ter como base o IFC 2x3), a carência de referências à aplicação do método IDM proposto pela ISO 29481-1 representou um dos principais obstáculos a serem superados ao desenvolvimento da presente pesquisa.

Também cabe ressaltar que, ao assumir conjuntamente o papel de desenvolvedor IDM e MVD, não foi possível a este pesquisador identificar algumas das particularidades para a transição das informações geradas por estes dois métodos. No entanto, notou-se que em função da forma descritiva adotada atualmente para documentação IDM o processo de transição IDM/MVD tende a requerer mais interações.

7.2 REQUISITOS PARA FABRICAÇÃO DIGITAL DE ARMADURAS (IDM)

Embora tenham-se passados quatorze anos, entre a presente pesquisa e a publicação do trabalho utilizado como referência à análise da cadeia produtiva (MARDER; FORMOSO, 2004), os resultados obtidos nas duas pesquisas se mantiveram similares. As duas diferenças apontadas, o projeto não vinculado ao construtor e a não inclusão da montagem das armaduras no contexto da CPACD, devem-se a participação de empresas que atuam em obras destinadas ao setor público e a participação majoritária de fabricantes na presente pesquisa, para os quais a CPACD se encerra com a entrega do aço pré-processado ao agente construtor.

Esta constatação revela que, apesar da expansão do fornecimento de aço pré-processado no mercado brasileiro e a existência de padrões que possibilitassem a interface digital projeto–produção (como o BVBS e IGV), permanece vigente o processo de transcrição manual do PDA e, conseqüentemente, a ocorrência de ilhas de automação descrita por Navon, Rubinovitz e Coffler (1998).

Pode-se relacionar estes fatos às características particulares ao processo de concepção e a configuração adotada pela cadeia produtiva do aço cortado e dobrado nacional, a qual demanda sinergia para o emprego dos padrões disponíveis à interface digital dos dados requeridos pelo fabricante.

A realização das entrevistas presenciais que precederam a visita às três instalações industriais de corte e dobra também revelaram que alguns dos fabricantes desconheciam tanto o processo BIM quanto a possibilidade da interface com seus sistemas de gestão de produção.

O fluxo apresentado neste trabalho reflete a configuração atualmente adotada pela cadeia produtiva brasileira, sobretudo sob o ponto de vista do fabricante de aço cortado e dobrado. Entretanto, a proposição do cenário pretendido reflete a percepção deste autor quanto ao emprego do processo BIM aplicado ao processo de concepção e produção industrial de aço cortado e dobrado, com base nos problemas e anseios expostos pelos participantes da pesquisa.

7.3 SOLUÇÃO TÉCNICA À FABRICAÇÃO DIGITAL DE ARMADURAS (MVD)

Embora o uso do objeto-tipo **IfcReinforcingBarType** e o mapeamento múltiplo tenha possibilitado o reuso das definições comuns a um componente de armadura (como sua forma geométrica e material), o posicionamento de cada componente em uma

peça de armadura mantém-se individual. Este foi o principal obstáculo enfrentado para a criação manual do modelo de teste, e motivo para a adoção das simplificações propostas.

Atualmente já consta na documentação IFC uma proposta para representação de padrões de distribuição linear aos subtipos de **IfcElementComponent** (mesmo que, por enquanto, restrito à sua forma simbólica). Acredita-se que este seja um dos pontos que será abordado em futuras edições do IFC.

Quanto ao uso do IFC para a fabricação digital de armaduras verificou-se que alguns dos atributos previstos encontram-se plenamente estabelecidos. Principalmente em relação à declaração das propriedades dos vergalhões.

No entanto, identificou-se que os atributos destinados à declaração explícita das instruções de dobra limitam-se aos formatos de componente poligonais bidimensionais. Embora estes sejam os formatos encontrados com maior frequência em estruturas de concreto armado convencionais, entende-se que a abordagem adotada para declaração das instruções de dobra deve também ser extensível aos demais tipos de formato, como espiral, circular ou tridimensional.

Uma proposta consiste em manter o atributo **IfcReinforcingBarType: BendingParameters**, atualmente restrito a uma sequência de um comprimento e um ângulo (**IfcBendingParameterSelect**) associados ao supertipo abstrato **IfcValue** de modo a viabilizar a declaração de outros tipos de formatos com base em *ShapeCode* ou mesmo o BVBS.

Considera-se também possível a recuperação da geometria implícita ao componente para fins de fabricação. Entretanto tal abordagem demanda um rigoroso controle e uniformidade quanto ao método adotado para sua representação geométrica. A atual liberdade prevista pelo esquema IFC não estabelece, segundo Corrêa e Santos (2014), uma maneira única para realizar-se a modelagem o que, em alguns casos como em modelos destinados à fabricação, pode comprometer sua interoperabilidade.

Embora estenda-se à modelagem de processos, controles e gestão de facilidades, o esquema IFC é por origem um modelo de dados de produto. Enquanto o esquema IFC4 demonstra maturidade para a definição do produto, a modelagem do processo e do pedido no esquema IFC4 exigiu maiores esforços por parte deste autor. Verificou-se tratar de um uso ainda incipiente e com poucas referências disponíveis à sua aplicação.

Quanto ao MVD, notou-se a carência de recomendação quanto ao nível de modularidade a ser aplicado no desenvolvimento de conceitos-modelo. Inicialmente, os conceitos-modelos foram decompostos ao maior nível possível, de modo a permitir o seu reuso.

7.4 VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA

A proposta apresentada nesse trabalho, embora tenha se mostrado viável, não representa um cenário a ser implantado em curto prazo. O desenvolvimento do modelo de teste com base nas ferramentas de autoria BIM selecionadas demonstrou que apesar de iniciado, o processo de implementação do esquema IFC4, ao menos quanto aos componentes de armadura, ainda se encontra em andamento.

Acredita-se que o pleno suporte à exportação de componentes e peças de armadura no formato IFC4 será gradualmente implementado por estas ferramentas, sobretudo com o início do processo de certificação oficial buildingSMART. No entanto, ressalta-se que os dois MVD a serem certificados inicialmente (*IFC4 Reference View 1.1* e *IFC4 Design Transfer View 1.0*) não contempla as entidades de processo e controle.

O uso do ifcDoc na verificação dos requisitos de troca propostos se mostrou fundamental para a validação das informações contida no modelo de teste. Embora as informações fornecidas pela buildingSMART e alguns trabalhos publicados possam ser empregado como referência, nota-se a carência de um manual consistente que subsidie o seu uso.

A criação manual também revelou que alguns visualizadores bem como servidores IFC ainda não suportam algumas das entidades incluídas na versão mais recente do IFC (IFC4 Addendum 2). Inicialmente, propôs-se o desenvolvimento da geometria da armadura por meio de poli curvas indexadas (**IfcIndexedPolyCurve**) e com os vértices descritos pela entidade **IfcCartesianPointList3D**. Posteriormente tornou-se necessário alterar a descrição da curva diretriz para entidade **IfcPolyline** de modo a ser processada pelo servidor adotado neste trabalho (BIMserver).

Embora preliminares, os testes para recuperação dos dados do modelo IFC demonstram também a viabilidade de se manter a compatibilidade com os padrões e métodos empregados atualmente no mercado internacional, como o formato BVBS e interface baseada em formatos típicos de dobra normatizados. Este fato amplia a

possibilidade de implementação da solução proposta visto que poderia também ser empregado em centrais de corte e dobra existentes.

A proposta apresentada também se mostra compatível ao contexto internacional. Como a maioria dos provedores de equipamentos e sistemas de gestão empregados no setor industrial de corte e dobra atuam no mercado internacional nem sempre torna-se viável atender as particularidades de cada país.

Deste modo, adoção do IFC para a fabricação digital de armaduras permitiria direcionar os esforços para interface baseada no IFC e tratar a recuperação dos dados de modo independente aos requisitos de troca de informação (IDM) e respectiva solução técnica (MVD), definidos de acordo com as necessidades específicas a cada país.

7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora este autor tenha sua carreira fundamentada na área de projetos de estruturas de concreto armado, o mesmo optou por focar o **fabricante** por entender ser este o agente que exerce maior influência na cadeia produtiva do aço cortado e dobrado, por considerá-lo o elo com menor pulverização e que iniciativas adotadas por este agente podem refletir diretamente nos demais agentes deste setor.

Para este pesquisador, o processo BIM exercerá um papel fundamental tanto na consolidação da fabricação digital no setor industrial de corte e dobra quanto na adoção do processo de modelagem no projeto de detalhamento de armaduras.

Por um lado, a potencial integridade associada ao PDA desenvolvido por meio do processo BIM tende a aumentar a confiança para a adoção da fabricação digital pelo fabricante. Por outro lado, a redução da intervenção manual para transcrição dos dados necessários à produção e eventuais vantagens comerciais às construtoras que fornecerem estas informações em formato digital, tende a tornar mais frequente a solicitação de PDA desenvolvido em BIM.

Este trabalho limitou-se a proposição de uma solução técnica à fabricação digital de componentes de armadura poligonais bidimensionais por tratar-se do formato que apresenta maior incidência em estruturas de concreto armado. Entretanto, considera-se necessária a sua extensão aos formatos de dobra em espiral, circular e tridimensional bem como às telas eletrosoldadas customizadas (dobradas), temas que poderão ser abordados em trabalhos futuros.

8 CONCLUSÃO

A presente pesquisa demonstrou o potencial de uso do esquema IFC em viabilizar a interface digital entre os principais agentes da cadeia produtiva do aço cortado e dobrado.

Por meio do método IDM foram levantados os requisitos de informações necessários à fabricação digital de componentes de armadura sendo apresentada, documentada e validada uma solução técnica, baseada no método MVD, aos requisitos de troca previstos pelo cenário proposto.

Tais métodos, em conjunto com o esquema IFC, representam os dois principais pilares do modelo de interoperabilidade adotado pela buildingSMART, entidade internacional responsável pelo fomento e manutenção de padrões de uso público no contexto da Modelagem da Informação da Construção – BIM.

A solução técnica, incluída na documentação MVD, sintetiza os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho bem como demonstra o atendimento ao objetivo central da pesquisa: prover uma solução técnica, interpretável por computadores, aos requisitos de troca necessários a fabricação digital de aço cortado e dobrado.

O desenvolvimento do modelo de teste demonstrou que a implementação do esquema IFC4 pelas ferramentas de autoria BIM analisadas encontra-se em andamento e ainda não possuem pleno suporte à exportação de armaduras com base na versão IFC4.

Assim como exposto pela ISO, o processo de descoberta empregado no desenvolvimento IDM requer vários ciclos de desenvolvimento para alcançar uma conclusão satisfatória.

Deste modo, apresenta-se neste trabalho um caminho, tangível e sistematicamente documentado, que poderá subsidiar o desenvolvimento de um IDM oficial para o setor de estrutura de concreto armado nacional, o qual proverá um cenário consensual ao desenvolvimento de sua respectiva solução técnica.

REFERÊNCIAS

- ABIKO, A. K. et al.(Org.) **Setor de construção civil**: segmento de edificações. Brasília: SENAI. 2005. 159 p. v. 5.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 315-99**: details and detailing of concrete reinforcement. Farmington Hills, MI: ACI, 1999.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 131.1R-14**: information delivery manual (IDM) for cast-in-place concrete. Farmington Hills, MI: ACI, 2015.
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **Strategy regarding Interoperability for the structural steel industry**. Chicago: AISC, 2011.
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **Information delivery manual for structural steel**. [S.l.]: AISC, 2013.
- ARAM, S.; EASTMAN, C.; SACKS, R. Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain. **Automation in Construction**, v. 35, p. 1-17, 2013.
- ARAÚJO, L. O. C. D. **Método para a proposição de diretrizes para melhoria da produtividade da mão-de-obra na produção de armaduras**. 2005. 503 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ARAÚJO, L. O. C. D.; SILVA, M. H. B. D.; SOUZA, U. E. L. D. A padronização dos projetos de detalhamento das armaduras como facilitadora da produção. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7191**: execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.
- _____. **NBR 7481**: tela de aço soldada: armadura para concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- _____. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto: procedimento. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- _____. **NBR 7480**: aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado: especificação. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- _____. **NBR 6122**: projeto e execução de fundações. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15965-1**: sistema de classificação da informação da construção: parte 1: terminologia e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 6215**: produtos siderúrgicos: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 15965-3**: sistema de classificação da informação da construção: parte 3: processos da construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

AUTODESK. **Revit para engenharia estrutural**. 2017. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit-family/structure>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

BARAK, R. et al. Unique requirements of building Information modeling for cast-in-place reinforced concrete. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 23, n. 2 p. 64-74, 2009.

BELK, A. BIM: um novo paradigma: vantagens, desvantagens e dificuldades. In: Encontro Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural (ENECE). 12., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABECE, 2009. p. 73.

BERARD, O.; KARLSHOEJ, J. Information delivery manuals to integrate building product information into design. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 17, p. 63-74, 2012. Disponível em: <<https://www.itcon.org/paper/2012/4>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

BIMSERVER. BIMserver: Open source Building Information Model server, 2018. Disponível em: <<http://bimserver.org/>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

BLIS CONSORTIUM. **IFC Solutions Factory**: The Model View Definition site. Building Lifecycle Interoperable Software. [S.l.]: BLIS Consortium; Digital Alchemy, 2012. Disponível em: <<http://www.blis-project.org/IAI-MVD/>>. Acesso em: 1 mar. 2018.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 8666**: scheduling, dimensioning, bending and cutting of steel reinforcement for concrete: specification. United Kingdom: BSI, 2005.

BUILDINGSMART. **Industry foundation classes**: IFC2x edition 3: technical corrigendum 1. 2007. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm>>. Acesso em: 01 fev. 2018.

BUILDINGSMART. **IFC4 Design Transfer View 1.0**. 2014. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/mvd/IFC4Add1/DTV/1.0/html/>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

_____. **Industry foundation classes version 4: addendum 1**. 2015. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/Add1/html/>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

_____. **Industry foundation classes version 4: addendum 2**. 2016. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/Add2/html/>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

_____. **IFC4 reference view 1.1**. 2017. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/review/IFC4Add2/ifc4-add2-rv/html/>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

BUILDINGSMART INTERNATIONAL. **BuildingSMART: International home of OpenBIM**. 2017. Disponível em: <<http://www.buildingsmart.org/>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

BUILDINGSMART-TECH. **Model support group: implementation support group**. 2018. Disponível em: <www.buildingsmart-tech.org>. Acesso em: 01 mar. 2018.

_____. **IFC4 addendum 2 baseline**. 2016. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/downloads/view-definitions/mvd-baselines/mvdxml-ifc4-baseline-section/ifc4-addendum-2-baseline>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

_____. **IfcDoc V11.5. ifcDoc download Page**. 2017. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/specification-tools/ifcdoc-tool/ifcdoc-download-page>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

BUNDESVEREINIGUNG DER BAUSOFTWAREHÄUSER. **BVBS - Guidelines: exchanging reinforcement data: interface description release 2.0**. Bonn, Alemanha: BVBS, 2000. 25 p.

CARLOTT, M. **Comparativo entre o método de corte e dobra de aço industrializado e em obras de um edifício**. 2012. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2012.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Produtividade da Construção Civil Brasileira**: CE Nº 2418/14: projeto 054/14. [S.l]: FGV, 2014. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/estudos-especificos-da-construcao-civil/produtividade-da-construcao-civil-brasileira>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

CASALEIRO, P. D. P. **Equipamentos de corte e dobragem de aço em varão**. 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

CHINA RAILWAY BIM ALLIANCE. **CRBIM1002-2015**: railway BIM data standard: version 1.0. [S.l.]: China Railway BIM Alliance, 2015.

CHIPMAN, T.; LIEBICH, T.; WEISE, M. **mvdXML 1.1**: Specification of a standardized format to define and exchange Model View Definitions with Exchange Requirements and Validation Rules [S.l.]: BuildingSMART Model Support Group, 2016.

CLEVENGER, C. M.; KHAN, R. Impact of BIM-enabled design-to-fabrication on building delivery. **Practice Periodical on Structural Design and Construction**, v. 19, n. 1, p. 122-128, 2014.

COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. **BIM Project Execution Planning Guide**: version 2.1. University Park, PA, USA: The Pennsylvania State University, 2011. Disponível em: <<http://bim.psu.edu>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. **BIM Planning guide for facility owner**: version 2.0. University Park, PA, USA: The Pennsylvania State University, 2013. Disponível em: <<http://bim.psu.edu>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

CORREA, F. R.; SANTOS, E. T. Ontologias na construção civil: uma alternativa para o problema de interoperabilidade com o uso do IFC. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 9, p. 7-22, jul/dez. 2014.

DUSTON, P. S.; BERNOLD, L. E. Intelligent control for robotic rebar bending. In: International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 10., 1993, Huston, USA. **Proceedings...** Huston: ISARC, 1993. p. 101-108.

EASTMAN, C. et al. **BIM handbook**: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2. ed., Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.

EASTMAN, C. M. **Introduction to industry foundation classes (IFC) and the role of information delivery manuals (IDM) and model view definitions (MVD)**. 2015. Disponível em: <<https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/51688521>>. Acesso em: 28 jan. 2017.

EASTMAN, C. M. et al. Exchange model and exchange object concepts for implementation of national BIM standards. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 24, n. 1, 2010.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **FHWA-HIF-16-011**: bridge information modeling standardization. [S.l.]: U.S. Department of Transportation, 2016.

FERREIRA, R. C.; SANTOS, E. T. Características da representação 2D e suas limitações na etapa de compatibilização espacial do projeto. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, Brasil, v. 2, n. 2, p. 36-51, nov. 2007. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50918>>. Acesso em: 28 jan. 2017.

FERREIRA, S. L. **Proposta de ampliação do modelo IFC com a contribuição do IES LM-63**: a luminária no ciclo de vida da edificação. São Paulo. 2005. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **12º Construbusiness** : Congresso Brasileiro da Construção : investir com responsabilidade. São Paulo: FIESP, 2016

FREIRE, T. M. **Produção de estruturas de concreto armado, moldadas in loco**: caracterização das principais tecnologias e formas de gestão adotadas em São Paulo. 2001. 325 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

FROESE, T. Future directions for IFC-based interoperability. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 8, p. 231-264, 2003. Disponível em: <<https://www.itcon.org/paper/2003/17>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

FUSCO, P. B. **Técnicas de armar as estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2013.

GROOVER, M. P. **Automation, production systems, and computer integrated manufacturing**. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.

HEVNER, A. R. et al. Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, mar. 2004.

INTERNATIONAL ALLIANCE OF INTEROPERABILITY. **Industry foundation classes – Release 2.0**: IFC object model architecture. Virginia: IAI, 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10303-21**: Industrial automation systems and integration: product data representation and exchange: part 21: implementation methods: clear text encoding of the exchange structure. Genebra: ISO, 2002.

_____. **ISO 3766**: Construction drawings: simplified representation of concrete reinforcement. Genebra: ISO, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10303-11:** industrial automation systems and integration: product data representation and exchange: part 11: description methods: the express language reference manual. Genebra: ISO, 2004.

_____. **ISO 10303-28:** industrial automation systems and integration: product data representation and exchange: part 28: implementation methods: XML representations of express schemas and data, using XML schemas. Genebra: ISO 2007.

_____. **ISO 29481-1:** building information models: information delivery manual: part 1: methodology and format. Genebra: ISO, 2010.

_____. **ISO 16739:** industry foundation classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Genebra: ISO, 2013.

_____. **ISO 29481-1:** building information models: information delivery manual: part 1: methodology and format. Genebra: ISO, 2016.

_____. **ISO/DIS 16739-1:** industry foundation classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries: part 1: data schema using express schema definitions. [S.l.]: ISO, 2017. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/70303.html>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

_____. **ISO/IEC/IEEE 24765:** Systems and software engineering: Vocabulary. Genebra: ISO, 2017.

ISATTO, E. L. et al. **Lean Construction:** Diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil. Porto Alegre: Sebrae, 2000.

ISATTO, E. L.; AZAMBUJA, M.; FORMOSO, C. T. The role of commitments in the management of construction make-to-order supply chains. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 4, p. 0401453 (1-10), 2015.

KASANEN, E.; LUKKA, K.; SIITONEN, A. The constructive approach in management accounting research. **Journal of Management Accounting Research**, [S.l.], v. 5, p. 243-264, 1993.

KOSANKE, K. ISO standards for interoperability: a comparison. In: KONSTANTAS, D. et al. (ed.). **Interoperability of Enterprise Software and Applications**. London: Springer, 2006. p. 55-64.

KREIDER, R.; MESSNER, J.; DUBLER, C. Determining the frequency and impact of applying BIM for different purposes on building projects. In: International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction, 6., 2010, University Park, PA, USA. **Proceedings...** University Park, PA, USA: The Pennsylvania State

University, 2010. Disponível em: <<http://www.bim.psu.edu/uses/>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

LAAKSO, M.; KIVINIEMI, A. The IFC standard: a review of history, development and standardization. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 17, p. 134-161, 2012. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2012/9>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

LEE, Y. C.; EASTMAN, C. M.; SOLIHIN, W. An ontology-based approach for developing data exchange requirements and model views of building information modeling. **Advanced Engineering Informatics**, v. 30, n. 3, p. 354-367, 2016.

LEE, Y-C. **Rule logic and its validation framework of model view definitions for building information modeling**. 2015. 184 f. Tese (Doutorado) – College of Architecture, Georgia Institute of technology, Georgia, 2015.

LUKKA, K. The constructive research approach. In: OJALA, L.; HILMOLA, O-P. (Ed.). **Case Study Research in Logistics**. Turku: Turku School of Economics and Business Administration, Series B1, p. 83-101, 2003.

MACIEL, A.; CORRÊA, F. Interoperability with IFC in the automated rebar fabrication. In: International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 33., 2016, Auburn, USA. **Proceedings...** Auburn: ISARC, 2016. p. 872-880.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, p. 251-266, 1995.

MARDER, T. S. et al. O papel do comprometimento na integração das cadeias de produtos feitos sob encomenda na indústria da construção. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

MARDER, T. S.; FORMOSO, C. T. Oportunidades de melhorias na cadeia de suprimentos do aço cortado e dobrado para a construção civil. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

MARTHA, L. F. **Análise de estruturas**: conceitos e métodos básicos. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2010.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. **The business value of BIM**: getting building information modeling to the bottom line. Bedford, MA: McGraw Hill Construction, 2009.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. **The business value of BIM for construction in major global markets**. Bedford, MA: McGraw Hill Construction, 2014.

MELHADO, S. B. et al. **Coordenação de projetos de edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.

MEP. **Catálogo de produtos**. 2018. São Paulo: MEP, 2018. Disponível em: <<http://www.mepgroup.com/br/>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

MOON, S.; ZEKAVAT, P. R.; BERNOLD, L. E. Dynamic control of construction supply chain to improve labor performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 141, n. 6, p. 05015002-1-12, 2015.

MOOR, C.; FAULKNER, L. Interoperability for Construction: an in-depth look into the how and why behind the steel construction industry's migration to IFC. **Modern Steel Construction**, Chicago, v. 3, mar. 2012.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. **United States Nation building information modeling standard**: Part 1: Overview, principles, and methodologies. 1. ed. Washington, USA: NIBS, 2007.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. **United States Nation building information modeling standard**. 3. ed. Washington, USA: NIBS, 2015.

NAVON, R.; RUBINOVITZ, Y.; COFFLER, M. Reinforcement-bar manufacture: from design to optimized production. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 11, n. 4, p. 326-333, 1998.

NEDERVEEN, S. V.; BEHESHTI, R.; GIELINGH, W. Modelling Concepts for BIM. In: UNDERWOOD, J.; ISIKDAG, U. **Handbook of research on Building Information Modeling and construction informatics**: Concepts and technologies. Hershey, PA: IGI Global, 2010. Cap. 1, p. 1-18.

NEMETSCHEK. Allplan Engineering. 2017. Disponível em: <<https://www.allplan.com/en/software/engineering/allplan-engineering.html>>. Acesso em: 15 maio 2017.

POLAT, G.; BALLARD, G. Construction supply chains: turkish supply chain configurations for cut and bent rebar. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 11., 2003, Virginia. **Proceedings...** Virginia: IGLC, 2003.

PRECAST CONCRETE INSTITUTE. **Information delivery manual for precast concrete**. Chicago: PCI, 2009.

RIBEIRO, C. A. N. **Desenvolvimento de processos CAD/CAM para a pormenorização e produção industrial de armaduras para elementos de betão armado**. 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.

RUSCHEL, R. C. et al. O papel das ferramentas BIM de integração e compartilhamento no processo de projeto na indústria da construção civil. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 7, n. 3, dez. 2013. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/27487>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

SALIM NETO, J. J. **Diretrizes de projeto para melhorar a produtividade na montagem de componentes pré-cortados e pré-dobrados de aço para estruturas de concreto armado de edifícios**. 2009. 242 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SCHNELL. **Reinforcement processing equipment**. 2018. Disponível em: <<http://www.schnell.it/products.asp>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

SEE, R.; KARLSHOEJ, J.; DAVIS, D. An Integrated Process for Delivering IFC Based Data Exchange. [S.l.]: BuildingSMART International User Group, 2012.

SILVA, M. A. C.; SOUZA, R. D. Os processos de coordenação e gerenciamento de projetos na empresa contratante. In: SILVA, M. A. C.; SOUZA, R. D. **Gestão do processo de projeto de edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2003. Cap. 3, p. 88 - 95.

SMITH, D. K.; TARDIF, M. **Building information modeling: a strategic implementation guide for architects, engineers, constructors and real estate asset manager**. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2009.

SOUSA, H. D.; MARTINS, J. P.; MONTEIRO, A. **Projecto SIGABIM**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011. Disponível em <https://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/index.php?title=Industry_Foundation_Classe> . Acesso em: 10 mar. 2018.

Teicholz, P. **Labor-Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies: Another Look**. 2013. [S.l.]: AECbytes, mar. 2013

TEKLA. Tekla BIMsight 1.4 Takes BIM to the Field with Windows Tablets. [S.l.]: Trimble, 24 jan. 2012. Disponível em: <<http://www.tekla.com/about/news/tekla-bimsight-14-takes-bim-field-windows-tablets>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

TQS-PLANEAR. GerPre: Gerenciamento da produção de estruturas em concreto armado. Disponível em: <<https://www.gerpre.com.br/>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

TQS-PLANEAR. IGV - Interpretador, Gerenciador e Visualizador de projetos, 2017. Disponível em: <<http://www.tqsplanear.com.br/>>. Acesso em: 30 maio 2017.

TRIMBLE. Modelagem para maior eficiência na produção e montagem de armaduras, 2017. Disponível em: <<https://www.tekla.com/br/solucoes/fabricantes-de-armaduras>>. Acesso em: 15 maio 2017.

UNDERWOOD, J.; ISIKDAG, U. **Handbook of research on building information modeling and construction informatics**: Concepts and technologies. Hershey, PA: IGI Global, 2010.

VENUGOPAL, M. EASTMAN, C. TEIZER, J. An ontology-based analysis of the industry foundation class schema for building information model exchanges. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, n. 4, p. 940-957, 2015.

VENUGOPAL, M. et al. Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 2, p. 411-428, 2012.

YANG, D.; EASTMAN, C. M. Validation of IFC model based on high-level interface: Specifications for rule-checking error reporting. In: International Conference of CIB W78, 32., 2015, Eindhoven. **Proceedings...** Eindhoven: CIB W78, 2015. p. 772-779

YUN, S-H.; KIM, S-C. Rebar fabrication process in both field processing and factory processing for adopting lean construction. **Architectural research**, v. 15, n. 3, p.167-174, 2013.

ZOLFAGHARIAN, S. **A knowledge-based BIM exchange model for constructability assessment of commercial building designs**. 2016. 227 f. Tese (Doutorado) – School of Building Construction, Georgia Institute of technology, Georgia, 2016.

APÊNDICE A – Conceitos-modelo específicos ao presente trabalho

Figura 93 – Conceito-modelo *Project Attributes* (Atributos do empreendimento)

Figura 94 – Conceito-modelo *Structural elements identity* (Identificação dos elementos estruturais)

Figura 95 – Conceito-modelo *Actors Attributes* (Atributos dos Agentes)

Figura 96 – Conceito-modelo Stakeholder *Contact* (Contatos do agente)

Figura 97 – Conceito-modelo *Rebar cage identity* (Identificação da armadura)

Figura 98 – Conceito-modelo *Postal Address* (Endereço Postal) Figura 99 – Conceito-modelo *Telecom Address* (Endereço eletrônico)

Figura 100 – Conceito-modelo *Organization identity* (Identificação da empresa)

Figura 101 – Conceito-modelo *Person identity* (Identificação da pessoa)

Figura 102 – Conceito-modelo *ProjectOrder* attributes (Atributos do pedido)

Figura 103 – Conceito-modelo *Assignment to Actor* (Atribuição do agente)

APÊNDICE B – EM.C MODELO DE PEDIDO DE AÇO CORTADO E DOBRADO

Renforcement Fabricat
+
-
file:///C:/IFC/ifc4-rebar-fabrication/html/schema/views/rebar-fabricat

1.1.3 Modelo de pedido de aço cortado e dobrado (EM:C)

Identificação:

Code	Version	Schema	Status	Author	Copyright
er_rFAB_C	0.9	IFC4 Add.2	Sample	Alex Roda Maciel	© 2016-2018 Universidade de São Paulo

Estagio do empreendimento:

Estagio do ciclo de vida	De	Para
1F 40 20 31 Fase de pedido de produtos	1D 25 41 21 Aquisição de produtos de construção	1D 41 11 11 Fabricação de produtos de construção

Diretrizes:

Solicitar à empresa prestadora de serviço de corte e dobra o fornecimento do aço pré-processados.

Descrição das necessidades:

Conteúdo:

- Definição da empresa responsável pelo fornecimento do aço cortado e dobrado.
- Formalização do pedido de compra, considerando:
  - Prazos de antecedência previstos pelo contrato comercial.
  - Data de entrega prevista pelo planejamento do empreendimento.
  - Condições de acesso ao local.

Nível de detalhe: Não aplicável

Nível de informação:

- Dados para identificação do empreendimento e do local de entrega do aço pré processado; condições de acesso, método de recebimento/descarga.

Modelos relacionados:

- EM.B - Modelo de planejamento de armação.

file:///D:/IFC/ifc4-rebar-fabrication/html/schema/views/rebar-fabrication-view/reinforcement-fabrication-order.h

Reinforcement Fabrication Order

Entity/Concept	Attributes	Constraints																																								
IfcActor																																										
* Actors Attributes	<table><tr><td>Name</td><td>ActorName</td><td>ActorDescription</td><td>Actor Select</td></tr><tr><td>TheActor</td><td>Name</td><td></td><td>IfcOrganization</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>IfcPersonAndOrganization</td></tr></table>	Name	ActorName	ActorDescription	Actor Select	TheActor	Name		IfcOrganization				IfcPersonAndOrganization																													
Name	ActorName	ActorDescription	Actor Select																																							
TheActor	Name		IfcOrganization																																							
			IfcPersonAndOrganization																																							
IfcBuilding																																										
Building Attributes	<table><tr><td>LongName</td><td>Name</td><td>HasAddress</td><td>HasPurpose</td><td>AddressLines</td><td>Town</td><td>PostalCode</td><td>Country</td></tr><tr><td>CompositionType</td><td></td><td>IfcPostalAddress</td><td>SITE</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>ElevationOfRefHeight</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>ElevationOfTerrain</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>BuildingAddress</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	LongName	Name	HasAddress	HasPurpose	AddressLines	Town	PostalCode	Country	CompositionType		IfcPostalAddress	SITE					ElevationOfRefHeight								ElevationOfTerrain								BuildingAddress								
LongName	Name	HasAddress	HasPurpose	AddressLines	Town	PostalCode	Country																																			
CompositionType		IfcPostalAddress	SITE																																							
ElevationOfRefHeight																																										
ElevationOfTerrain																																										
BuildingAddress																																										
Property Sets for Objects	<table><tr><td>PredefinedType</td><td>PsetName</td><td>Properties</td></tr><tr><td>IsDefinedBy</td><td>Pset_BuildingCommon</td><td></td></tr><tr><td></td><td>Template</td><td>Property Name</td><td>Value</td><td>UpperValue</td><td>LowerValue</td><td>SetValue</td><td>Reference</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Single Value</td><td>ConstructionMethod</td><td>IfcLabel</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	PredefinedType	PsetName	Properties	IsDefinedBy	Pset_BuildingCommon			Template	Property Name	Value	UpperValue	LowerValue	SetValue	Reference			Single Value	ConstructionMethod	IfcLabel																						
PredefinedType	PsetName	Properties																																								
IsDefinedBy	Pset_BuildingCommon																																									
	Template	Property Name	Value	UpperValue	LowerValue	SetValue	Reference																																			
		Single Value	ConstructionMethod	IfcLabel																																						
IfcBuildingElement																																										
Product Local Placement	<table><tr><td>ObjectPlacement</td><td>Tag</td><td>Name</td><td>Description</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	ObjectPlacement	Tag	Name	Description																																					
ObjectPlacement	Tag	Name	Description																																							
* Element Identity																																										
Element Composition	<table><tr><td>Decomposes</td><td>RelatingObject</td><td>ElementName</td></tr><tr><td></td><td>IfcElementAssembly</td><td></td></tr></table>	Decomposes	RelatingObject	ElementName		IfcElementAssembly																																				
Decomposes	RelatingObject	ElementName																																								
	IfcElementAssembly																																									
IfcBuildingElementType																																										
Type Body Geometry	<table><tr><td>RepresentationMaps</td><td>RepresentationType</td><td>Geometry</td></tr><tr><td></td><td>SweptSolid</td><td>IfcExtrudedAreaSolid</td></tr><tr><td></td><td>SweptSolid</td><td>IfcRevolvedAreaSolid</td></tr><tr><td></td><td>MappedRepresentation</td><td>IfcMappedItem</td></tr></table>	RepresentationMaps	RepresentationType	Geometry		SweptSolid	IfcExtrudedAreaSolid		SweptSolid	IfcRevolvedAreaSolid		MappedRepresentation	IfcMappedItem																													
RepresentationMaps	RepresentationType	Geometry																																								
	SweptSolid	IfcExtrudedAreaSolid																																								
	SweptSolid	IfcRevolvedAreaSolid																																								
	MappedRepresentation	IfcMappedItem																																								
IfcBuilding Storey																																										

Data Requirements for IFC formats

IFC Reinforcement Fabrication Order										
Entity/Concept		Attributes			Constraints			I E		
IfcActor										
* Actors Attributes		Name Description TheActor			ActorName ActorDescription ActorSelect			R R		
					Name IfcOrganization					
					IfcPersonAndOrganization					
IfcBuilding										
Building Attributes		LongName Name CompositionType ElevationOfRefHeight ElevationOfTerrain BuildingAddress			LongName Name HasAddress IfcPostalAddress			HasPurpose AddressLines Town PostalCode Country		
Property Sets for Objects		PredefinedType IsDefinedBy			PsetName Pset_BuildingCommon			R -		
					PredefinedType			Description		
					Pset_BuildingCommon			Construction Method		
IfcBuildingElement										
Product Local Placement		ObjectPlacement Tag Name Description			ElementIdentifier Name Description			R O		
Element Composition		Decomposes			Decomposes RelatingObject ElementName			R -		
					IfcRelAggregates IfcElementAssembly					
IfcBuildingElementType										
Type Body Geometry		RepresentationMaps			RepresentationType Geometry			O O		
					SweptSolid IfcExtrudedAreaSolid					
					SweptSolid IfcRevolvedAreaSolid					
					MappedRepresentation IfcMappedItem					
IfcBuildingStorey										

IfcBuildingStorey		LongName Name		R	R
Storey Attributes		CompositionType Elevation			
IfcElementAssembly		ReferencedBy	Type IfcTask	R	O
Product Assignment					
Element Decomposition		IsDecomposedBy	RelatedObjects PartName	R	O
		IfcRelAggregates	IfcBuildingElement		
		IfcRelAggregates	IfcCivilElement		
Product Local Placement		ObjectPlacement	HasPlacement RelativeTo IfcLocalPlacement IfcLocalPlacement	O	O
* Rebar cage identity		Tag Name Description PredefinedType AssemblyPlace	Name Description REINFORCEMENT_UNIT SITE REINFORCEMENT_UNIT FACTORY	R	O
Element Composition		Decomposes	Decomposes RelatingObject ElementName IfcRelAggregates IfcReinforcingBar	R	-
IfcOrganization		Name Description Roles Addresses Addresses	HasRole HasAddress HasContact Description IfcPostalAddress IfcPostalAddress IfcPostalAddress IfcPostalAddress IfcPostalAddress IfcPostalAddress	R	-
* Organization identity			STRUCTURALENGINEER BUILDINGOWNER MANUFACTURER CONTRACTOR		
IfcPersonAndOrganization		Roles TheOrganization ThePerson	HasRole CONSULTANT FIELDCONSTRUCTIONMANAGER	O	R
* Stakeholder identity					
IfcProject		UnitsInContext		R	R
Project Units					

Reinforcement Fabrication

file:///D:/IFC4-rebar-fabrication/html/schema/views/rebar-fabrication-view/reinforcement-fabrication-order.h

file:///D:/IFC4-rebar-fabrication/html/schema/views/rebar-fabrication-view/reinforcement-fabrication-order.h

FIELD CONSTRUCTION MANAGER

Project Units

UnitsInContext
Phase
ObjectType
LongName

* Project Attribute

Name
Description
LongName
Phase

IfcProjectOrder

Approval Association
Control Assignment

HasAssociations
Controls

Type
IfcWorkControl

Property Sets for Objects

PredefinedType
IsDefinedBy

 
PURCHASEORDER

Pset Name
Pset_ProjectOrderChangeOrder

Properties
Template
Single Value
Single Value
Property Name
ReasonForChange
BudgetSource
Value
IfcText
IfcText

* ProjectOrder Attributes

Identification
 
Status

OrderIdentificationCode
OrderType
Order Status

PURCHASEORDER
WORKORDER

* Assignment to Actor

HasAssignments

The Actor
IfcOrganization
IfcPersonAndOrganization

IfcReinforcingBar

Object Typing

IsTypedBy
 

HasType
RelatingType
Type Name

Mapped Geometry

* Element Identify

Representation
Tag
Name
Description

IfcRelDefinesByType
IfcReinforcingBarType

Reinforcing Bar Attributes

Tag
IsTypedBy
NominalDiameter

HasType

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R

R/R</

ANEXO A – Modelos de formulários para solicitação de aço cortado e dobrado

PROGRAMAÇÃO CORTE DOBRA E ARMADURA PRONTA SOLDADA										
SELECIONAR O SERVIÇO: CORTE DOBRA ☐ ARMADO ☐				TORRE:		PEDIDO Nº:				
						ÚLTIMO PEDIDO Nº:				
CONSTRUTORA:			CONTATO:			TELEFONE:				
OBRA:						E-MAIL:				
DATA DA ENTREGA DO MATERIAL:			DATA DO ENVIO DA PROGRAMAÇÃO:							
SOLICITANTE:										
ITEM	NÚMERO IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO	DETALHAR OS ELEMENTOS ESTRUTURAIS A SEREM PRODUZIDOS (Lajes, Vigas, Pilares, Blocos, etc.)	REVISÃO	PAVIMENTO	PRODUÇÃO DO DESENHO COMPLETO (SIM / NÃO)?	PESO P/ PROJETO (t)	OBSERVAÇÕES EXTRAS			
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
ARAME RECOZIDO (quantidade em KG)				RECOZIDO		0.000				
				BELGO PRÁTICO (embalagem 0,5 kg)		0.000				
OBRIGATÓRIO - PESO TOTAL DO PEDIDO (TONELADAS)						0.000 t				
CONTROLE INTERNO PLANILHAMENTO MANETONI - TRECHO										
		PEDIDO:		NOME:						
		PEDIDO:		NOME:						
A DESCARGA DO MATERIAL É DE RESPONSABILIDADE DO CLIENTE.										
NOTAS IMPORTANTES:										
A - TRECHOS: ENCAMINHAR A FORMA, MANDAR UM CROQUI PARA IDENTIFICAÇÃO, OU CITAR OS ELEMENTOS										
B - NO CASO DA NECESSIDADE DA EXCLUSÃO DE ALGUMA POSIÇÃO OU ELEMENTO: SEMPRE CITAR O QUE DEVERÁ SER EXCLUÍDO, CASO CONTRÁRIO O PROJETO SERÁ PRODUZIDO EM SUA TOTALIDADE.										
C - DOBRA MÍNIMA: SEGUIREMOS O MÍNIMO DO PADRÃO CORTE E DOBRA (NORMA NBR-6118 E NBR-7480)										
D - PEDIDOS SERÃO LIBERADOS PARA PRODUÇÃO, SOMENTE APÓS A SOLUÇÃO DAS DÚVIDAS E QUANDO NÃO HOUVER RESTRIÇÕES.										
E - ENTREGAS: NOTURNAS: MÍNIMO PARA ENTREGAS 11 Tons.										
F - DATA DE ENTREGA: A DATA DE ENTREGA É ACORDADA COM O CLIENTE DEPOIS DE AVALIADO A OCUPAÇÃO DA FÁBRICA.										
MATERIAL OU PEÇAS NÃO DETALHADOS EM PROJETO (CITAR MEDIDAS EXTERNAS)										
PEÇA	ITEM	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	QTDE (Unidade)	BITOLA (mm)	TIPO DE AÇO	OBSERVAÇÕES
[1]										
[2]										
[3]										
[4]										
Contato Manetoni: belgopronto@manetoni.com.br (19) 3493 8106 - 3493 8118 - 3493 8104 - 3493 8111					Resp. Fabiana Melo					

RQ.035 - REV.04 / ABRIL 2015

Fonte: Formulário fornecido pela empresa Manetoni

Nº Contrato	Cliente		Nº Pedido	Torre (Bloco)	Recebe carreta?	Data Desejada	Página
	Obra						

Favor preencher todos os campos acima

Número do Desenho	Revisão	Pavimento	Desenho completo	Quantas Vezes	Detalhar os elementos estruturais a serem produzidos (Ex.: Lajes, Vigas, Pilares, Blocos, etc...)

Observações: Em caso de dúvidas, entre em contato com seu Vendedor ou Assistente Técnico

SOLICITAÇÃO DE PEÇAS QUE NÃO ESTÃO DETALHADAS EM PROJETO						
Tipo da Peça	Tipo de Aço e Bitola	Medidas (cm)			Quantidade Peças	Peso (kg)
		a	b	c		

ARAME RECOZIDO		
Tipo	Peso (Kg)	%

Nome do Solicitante

Telefone/E-mail

Dúvidas ligue: (11) 3623-2000

e-mail: cortedobra-sp@gerdau.com.br

	NI 54	06 / Mar / 2015 Rev04
GERÊNCIA DE VENDAS	REQUISITOS DE PEDIDOS	
SIGNIFICADO	- Requisito de um pedido é toda característica técnica ou comercial que deve ser estabelecida, tratada, divulgada entre o Cliente Comprador e o Vendedor ou Planilhador da Udiaço. - Podem ser estabelecidos claramente pelo cliente, estabelecidos indiretamente pelo cliente, estabelecidos pela Udiaço, estabelecidos por uma lei ou norma externa	
Estabelecidos pelo Cliente	- Tipo de ferragem (Reto, C & D, Armados, Agregado,); - Qualidade do Aço (CA ...); - Bitola ou diâmetro do vergalhão; - Formato do produto (L, U, caranguejo, escada, conforme desenho, coluna, sapata, viga, baldrame, conforme projeto); - Detalhes dos componentes de armação; - Quantidade (peças, metros ou kg); - Tolerâncias dimensionais especiais (caso difiram da norma interna 23); - Local de entrega; - Raios/diâmetros mínimos especiais (diferentes da norma interna 06); - Comprimento de Dobra reduzido (norma interna 24); - Embalagem especial (tamanhos, acondicionamento); - Responsável no local pelo descarregamento; - Data de entrega; - Faixa de horário previsto de entrega; - Incluir mão de obra da Udiaço de montagem na obra. - Nome Responsável pela compra; - No caso de telas, qual a área de aplicação das mesmas (m2)	
Estabelecidos pela Udiaço	- Estrutura armada soldada ou amarrada manualmente; - Condições de entrega / acesso (caminhão, carreta,); - Condições de entrega/retira; - Condições de descarga (sem ajudante, com 1 Ajudante, com 2 Ajudantes, etc); - Preço; - Condições de pagamento; - Conferência (pelo cliente no recebimento, envio de um Conferente Udiaço); - Prazo normal de entrega;	
Estabelecidos pelas normas técnicas e/ou leis	- Tolerâncias normais de fabricação (ABNT); - Zona restrita – horários de circulação veículos para descarga; - Nota fiscal eletrônica;	
Estabelecidos indiretamente pelo cliente	Embalagem normal (feixes, amarrados, sacos de ráfia)	
Cópias : Manuais : PCP / Planilhamento / Vendas		

Fonte: Formulário fornecido pela empresa Udiaço

ANEXO B – CONCEITOS MODELO PRÉ DEFINIDOS PELA BUILDINGSMART

Conceito-modelo (Template / SubTemplate)	Entidade aplicável	Origem	Identificação
Project Context	IfcContext	General Usage	805deb96-2684-4bc5-a9ad-3a29199dc023
Project Declaration	IfcContext	General Usage	ab1e2cfd-9f21-4f4a-b6af-cc26d84e45ac
<i>Project Type Definitions</i>	<i>IfcContext</i>	<i>Reference View</i>	<i>634e27f7-7edb-4e22-b8cc-25f1cdc765ce</i>
Project Units	IfcContext	General Usage	4ccaac0c-88f8-4c1d-91fd-2214d0e513c4
Project Representation Context	IfcContext	General Usage	38dac6f0-997c-4544-9bca-b6326b9a3e4b
<i>Project Representation Context 3D</i>	<i>IfcContext</i>	<i>Reference View</i>	<i>0c93e2c2-cb23-46a8-8b9a-c772c280fc26</i>
Project Document Information	IfcContext	General Usage	627f19f8-d2ee-4b19-a13c-e5149018b976
Object Definition	IfcObjectDefinition		
Object Typing	IfcObject	General Usage	35a2e10e-20df-40f4-ab2f-dacf0a6744f4
Property Sets for Objects	IfcObject	General Usage	f74255a6-0c0e-4f31-84ad-24981db62461
Property Sets for Types	IfcTypeObject	General Usage	4be3312a-3199-492e-b204-cac2229a9ade
Quantity Sets	IfcObject	General Usage	6652398e-6579-4460-8cb4-26295acfac7
Object Attributes	IfcRoot	General Usage	ccb45aa2-74e1-46e8-8e35-ca5e5d7cc9dd
Software Identity	IfcRoot	General Usage	f7cb0a08-fee7-4cc0-85fe-43f6a6a0bce1
Revision Control	IfcRoot	General Usage	b441c773-3fdc-42b6-a323-ad268dcd85f2
Object Predefined Type	IfcObject	General Usage	25248261-98df-4d0a-9364-5653575ca421
Object Occurrence Attributes	IfcRoot	General Usage	73e34d23-ed0d-4afd-a87d-4da2df34466a
Spatial Element Occurrence Attributes	IfcSpatialElement	<i>Reference View</i>	9661dfc6-707f-49a8-8881-7142b07f3bb1

Conceito-modelo (Template / SubTemplate)		Entidade aplicável	Origem	Identificação
	<i>Site Attributes</i>	<i>IfcSite</i>	<i>Reference View</i>	<i>f6c9eecd-f5fc-4096-a037-12c2cd4d9d97</i>
	<i>Building Attributes</i>	<i>IfcBuilding</i>	<i>Reference View</i>	<i>40100f0d-dd58-47f3-899a-b6a5a6b4f572</i>
	<i>Storey Attributes</i>	<i>IfcBuildingStorey</i>	<i>Reference View</i>	<i>488c9bb2-3102-4b89-bd20-42aa7060ae08</i>
	Element Occurrence Attributes	IfcElement	General Usage	037ad90d-348e-42c0-a85b-ad0d5383f598
	<i>Reinforcing Bar Attributes</i>	<i>IfcReinforcingBar</i>	<i>Reference View</i>	<i>f289287f-aab7-4d10-b8ac-e1389c8cc4e1</i>
	Object Type Attributes	IfcElementType	Design Transfer View	a0109ed0-5a08-4383-9f10-277ada5bdaad
	<i>Reinforcing Bar Attributes</i>	<i>IfcReinforcingBarType</i>	<i>Design Transfer View</i>	<i>673f859a-2a77-4a9d-9887-78d585b89b3f</i>
Association		IfcObjectDefinition	General Usage	4b385464-b99a-42bc-a17a-a0a647a1ab5b
	Classification Association	IfcObjectDefinition	General Usage	4a224609-6578-4c75-afcf-8affa86e5ef2
	Document Association	IfcObjectDefinition	General Usage	7dadae9c-0026-44d3-ade7-9a843fe2ef0b
	Approval Association	IfcObjectDefinition	General Usage	52561fda-4281-409d-aa07-da485302249e
	Material Association	IfcObjectDefinition	General Usage	ea2a63be-fd0d-426d-863b-52c3970ca585
	<i>Material Single</i>	<i>IfcObjectDefinition</i>	<i>General Usage</i>	<i>5f39a814-44a0-4fb3-8dc6-ddaa0560fc54</i>
	<i>Material Profile Set</i>	<i>IfcObjectDefinition</i>	<i>General Usage</i>	<i>427ac055-2a71-42c2-a423-71689fa75c59</i>
Object Composition		IfcObjectDefinition	General Usage	5098cd13-bf4b-473a-a846-a60f69e9b738
	Aggregation	IfcElement	General Usage	02eefcc6-b26c-4f20-9c7c-c30ae74eb9a9
	Element Composition	IfcElement	General Usage	ca0f65e2-3913-4fdb-8a09-0c5c7a0d5421
	Element Decomposition	IfcElement	General Usage	8a27c15a-c4ea-4ca9-8cce-7fbb1c9bce0
	Object Nesting	IfcObjectDefinition	General Usage	38ca8788-5e47-411c-8294-d56f9e9a5691
Object Assignment		IfcObjectDefinition	General Usage	3b8e69d9-2824-4ebb-bb95-e5271c122efc

Conceito-modelo (Template / SubTemplate)		Entidade aplicável	Origem	Identificação
	Actor Assignment	IfcActor	General Usage	048079c1-74dd-4bd9-b330-479a148d238f
	Control Assignment	IfcControl	General Usage	813e73fe-5641-4648-a680-8887cf4359f1
Product Shape		IfcProduct	General Usage	0e8b1397-1ac6-41e1-a6d0-f2b34688cb61
	Product Placement	IfcProduct	General Usage	ad2770c2-914e-4ab2-9d39-bc0dff3f7b24
	Product Local Placement	IfcProduct	General Usage	cbe85b5f-7912-4a43-8bb7-1e63bf40b26d
	Product Geometric Representation	IfcProduct	General Usage	13f96914-1ad4-41d4-ba99-411a9ecbf567
	Body AdvancedSweptSolid Geometry	IfcElement	General Usage	5464785d-e5d1-4f75-9ecc-6cb39214705e
	Mapped Geometry	IfcProduct	General Usage	ecfdd7c8-71d5-449f-bf20-e63a25dcb9ba
Product Type Shape		IfcTypeProduct	General Usage	80f88bec-0436-4f70-a42a-c04705656a81
	Type Body Geometry			3aec2d00-b4bb-476a-a821-fc22b895b531
Partial Templates		–	General Usage	a322fdd7-cd28-4ea7-8797-f6cf124ab3d6
	Values	IfcSimpleProperty	General Usage	88b4aaa9-0925-447c-b009-fe357b7c754e
	Single Value	IfcPropertySingleValue	General Usage	6655f6d0-29a8-47b8-8f3d-c9fce9c9a620
	Quantities	IfcPhysicalSimpleQuantity	General Usage	6c03e465-c5dd-42ce-9412-bebacabd2f3b
	Length Quantity	IfcQuantityLength	General Usage	dd8678e1-e300-4f70-9d63-e539db4bd11c
	Weight Quantity	IfcQuantityWeight	General Usage	e1016e56-3c89-4f42-9679-07e1db3c0afb
	Count Quantity	IfcQuantityCount	General Usage	8aaeff32-572c-4f6a-ac64-e2151663cbf1

Fonte: IFC4 Addendum 2 Baseline (BUILDINGSMART–TECH, 2016).