

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCELO MONDADORI KIPPER

**PROPOSTA DE METODOLOGIA DE ENGENHARIA DE
DOMÍNIO PARA O DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Porto Alegre

2010

MARCELO MONDADORI KIPPER

**PROPOSTA DE METODOLOGIA DE ENGENHARIA DE
DOMÍNIO PARA O DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Automação e Controle

ORIENTADOR: Prof. Dr. Eng. Carlos Eduardo Pereira

Porto Alegre

2010

MARCELO MONDADORI KIPPER

**PROPOSTA DE METODOLOGIA DE ENGENHARIA DE
DOMÍNIO PARA O DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira, UFRGS

Doutor pela Universidade de Stuttgart - Stuttgart, Alemanha

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Laurindo Maitelli, UFRN

Doutor pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – São José dos Campos, Brasil

Prof. Dr. João Netto, UFRGS

Doutor pela Universidade Católica de Louvain - Louvain-La-Neuve, Bélgica

Prof. Dr. Walter Fetter Lages, PPGEE - UFRGS

Doutor pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - São José dos Campos, Brasil

Coordenador do PPGEE: _____

Prof. Dr. Alexandre Sanfelice Bazanella

Porto Alegre, Setembro de 2010.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe, que foi quem mais sofreu com as minhas idas para Stuttgart.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Eng. Carlos Eduardo Pereira pela viabilização primeiramente do meu mestrado sandwich em 2008 e depois pelo suporte durante a negociação com a Uni-Stuttgart para a parceria referente à possibilidade de colação de grau de mestre em ambas universidades. Além é claro pelo apoio durante todo o desenvolvimento técnico e revisão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Eng. Dr. h. c. p. Peter Göhner e Dr. Eng. Nasser Jazdi do Instituto de Automação Industrial e Engenharia de Software (IAS) da Universidade de Stuttgart que primeiramente me aceitaram como aluno intercâmbista do instituto em 2008, e viabilizaram o meu estágio em parceria na Corporate Technologies da Siemens em Erlangen, de onde o tema da minha tese de mestrado surgiu.

À minha orientadora no IAS, candidata a doutora Eng. Camelia Maga, pelo suporte e apoio durante toda a elaboração da minha tese.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PPGEE, pela aprovação primeiramente em 2008 do meu mestrado sandwich de 6 meses com a Universidade de Stuttgart, mas principalmente pelo prolongamento da data de defesa de minha tese em 6 meses, em virtude da cooperação com a Universidade de Stuttgart.

Ao Prof. Dr. Eng. Dr. h. c. mult. Paul J. Kühn, diretor do programa de mestrado INFOTECH, pela aceitação da parceria referente à minha colação do grau de mestre também pela Universidade de Stuttgart.

RESUMO

Engenharia de domínio (do inglês: DE - *Domain Engineering*) é uma proposta surgida no âmbito da Engenharia de Software e que visa o aumento do reuso no desenvolvimento de sistemas, buscando uma redução dos custos e do tempo de desenvolvimento. A aplicação desta técnica em sistemas de automação industrial (produtos e plantas industriais) – os quais incluem múltiplas disciplinas (sistemas mecânicos, elétricos, pneumáticos, entre outros), diferentemente da engenharia de Software que trata basicamente do reuso de artefatos de Software – vem despertando o interesse de algumas instituições de pesquisa, como o IAS (Instituto de Automação Industrial e Engenharia de Software da Universidade de Stuttgart), e será abordada neste trabalho.

A engenharia de plantas industriais é crescentemente realizada nas chamadas ferramentas de gerenciamento de ciclo de vida de plantas PLM (*Plant* ou "*Production Lifecycle Management*"), que se originou do conceito de "*Product Lifecycle Management*", cuja sigla também é PLM. A idéia destas ferramentas é o gerenciamento de ativos não somente durante o processo de engenharia, mas também durante a operação e manutenção até o descomissionamento das plantas. Muitas destas ferramentas PLM englobam o paradigma de orientação a objetos da Engenharia de Software, e baseadas neste paradigma, abordam a integração de dados entre os artefatos das várias disciplinas.

Este trabalho apresenta o conceito de um artefato técnico reutilizável multidisciplinar, que foi a base para a elaboração de uma metodologia de engenharia de Domínio adaptada a ferramentas PLM, que se baseiam no paradigma de orientação a objetos. A metodologia proposta foi validada experimentalmente em um estudo de caso de uma Planta Modular de Produção (MPS – *Modular Production System*) em conjunto com a ferramenta PLM Comos da Siemens. Os resultados obtidos indicam a viabilidade da implementação da metodologia proposta em projetos na indústria, visando a redução de custo e tempo de desenvolvimento através do reuso de artefatos técnicos multidisciplinares em domínios com aplicações semelhantes.

Palavras-chaves: Engenharia de Domínio, Engenharia de plantas Industriais, PLM (gerenciamento do ciclo de vida de plantas industriais).

ABSTRACT

Domain Engineering comes from the Software field and aims the increase of reuse to allow reduction of cost and time in the development of systems. The deployment of this methodology in automation systems (products and industrial plants) – in which more disciplines (mechanical, electrical, pneumatic, among others) are present and therefore differs from the Software engineering, that deals basically with the reuse of Software artifacts – has awakened the interest of some research institutes, like the IAS (Institute of Industrial Automation and Software Engineering of the University of Stuttgart), and will be analyzed during this work.

The engineering of industrial plants is increasingly executed using the so called PLM Tools ("Plant or Production Lifecycle Management"), whose concept was originated from "Product Lifecycle Management", also abbreviated as PLM. The idea of these tools is to manage the assets not only in the engineering process, but also through operation and maintenance until the decommissioning of the industrial plants. Many of these PLM Tools support the object orientation principle from the Software engineering, and based upon this principle they address the integration of data from artifacts of the various disciplines.

This work presents a concept for a multidisciplinary reusable technical artifact that was the base for the elaboration of an adapted DE Methodology for PLM Tools, in which the object oriented principle, is present. The presented ideas have been experimentally validated using as a case study a Modular Production System (MPS) together with the PLM Tool Comos from the company Siemens. The obtained results indicate a feasible implementation of the proposed methodology in the industry, aiming cost and time reduction through the reuse of multidisciplinary technical artifacts in domains with similar applications.

Keywords: Domain Engineering, Engineering of Industrial Plants, PLM (Production or Plant Lifecycle Management).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	ATIVIDADES REALIZADAS E OBJETIVOS DESTE TRABALHO DE MESTRADO	15
1.2	ESTRUTURA DESTE DOCUMENTO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	ENGENHARIA DE DOMÍNIO PARA SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO	18
2.1.1	Sistemas de automação	18
2.1.2	Engenharia de Domínio: originária da engenharia de Software	19
2.1.3	Engenharia de Domínio proposta pelo IAS: Descrição e Objetivos	20
2.1.4	Engenharia de Domínio proposta pelo IAS: Passos	21
2.1.5	Engenharia de Domínio proposta pelo IAS: Lacunas	25
2.2	FERRAMENTAS PLM	27
2.2.1	PLM (<i>Plant / Production Lifecycle Management</i>)	28
2.2.2	Paradigma de orientação a objetos e integração entre as disciplinas	29
2.2.3	A ferramenta Comos	30
2.3	SISTEMA MODULAR DE PRODUÇÃO (MPS)	32
2.3.1	Descrição	33
3	CONCEPÇÃO	36
3.1	ENGENHARIA DE PLANTAS INDUSTRIAIS: REUSO E A EXISTÊNCIA DE MÚLTIPLAS DISCIPLINAS	37
3.1.1	Conceito de um "artefato técnico multidisciplinar reutilizável"	38
3.1.2	A disciplina: Tecnologia de Informação	39
3.2	SÍNTESE DA CONCEPÇÃO	46
4	A METODOLOGIA "DE ADAPTADA"	48
5	EXECUÇÃO DOS PASSOS DA METODOLOGIA "DE ADAPTADA" PARA O DOMÍNIO MPS	50
5.1	ANÁLISE DO DOMÍNIO (DA)	50
5.1.1	DA1	50
5.1.2	DA2	52
5.1.3	DA3	55
5.1.4	DA4	56
5.2	PROJETO DO DOMÍNIO (DE)	59
5.2.1	DE1	60
5.2.2	DE2	62
5.2.3	DE3	63
5.2.4	DE4	63
5.2.5	DE5	65
5.3	REALIZAÇÃO DO DOMÍNIO (DR)	65
5.3.1	Comos: Configurações	66
5.3.2	Comos: Arquitetura do sistema	66
5.3.3	DR1	68
5.3.4	DR2	75

5.4 VALIDAÇÃO DA MODELAGEM DO DOMÍNIO MPS	75
5.4.1 Projeto de FB's independentes da Plataforma de CLP.....	78
6 MODIFICAÇÕES EM RELAÇÃO À METODOLOGIA "DE EXISTENTE"	82
6.1 ANÁLISE DO DOMÍNIO (DA).....	82
6.2 PROJETO DO DOMÍNIO (DE)	83
6.2.1 DE1 até DE4.....	83
6.2.2 DE5 Modelagem.....	85
6.3 REALIZAÇÃO DO DOMÍNIO (DR)	86
6.4 SÍNTESE DA ADAPTAÇÃO.....	87
7 AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA PLM COMOS	88
7.1 PONTO POSITIVO	88
7.1.1 Comos – Princípio de orientação a objetos	88
7.1.2 Criação com sucesso de um artefato técnico Tipo A	90
7.2 LACUNAS.....	91
8 UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA "DE ADAPTADA" NA PRÁTICA.....	93
8.1 CASO NÃO EXISTAM SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO SEMELHANTES NO DOMÍNIO	94
8.1.1 Modelagem abstrata na ferramenta PLM Comos.....	94
9 CONCLUSÃO.....	96
9.1 SÍNTESE DO TRABALHO	96
9.2 TRABALHOS FUTUROS	97

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Resultado esperado: DE + ferramenta PLM para o Domínio MPS.	16
Figura 2 Sistemas de automação segundo [Maga09(c)].....	19
Figura 3 DE, DR e AE.....	21
Figura 4 Os passos da metodologia DE existente no IAS.	22
Figura 5 Modelo de Variações – Artefato reutilizável (DE na Eng. de Software) [PBL05]....	25
Figura 6 Artefatos reutilizáveis.	26
Figura 7 Paradigma de Orientação a objetos.	30
Figura 8 Ciclo de vida de uma planta industrial (de acordo com [wwwCOMO]).	31
Figura 9: Módulos do Comos para engenharia de plantas industriais.	32
Figura 10: Integração entre os módulos do Comos.	32
Figura 11 Foto da Planta MPS.....	33
Figura 12 Estação de separação.....	33
Figura 13 Estação de Separação + Estação de testes.....	34
Figura 14 Estação de Separação, de Testes e de processamento.....	34
Figura 15 Planta MPS com as 4 estações	35
Figura 16 Pontos principais analisados durante a Concepção deste trabalho.....	36
Figura 17 Objeto mecatrônico [VDI2206].	37
Figura 18 Requisito dos artefatos em um Domain Repository segundo [Maga09(d)].....	38
Figura 19 Formato dos artefatos técnicos a serem criados e armazenados no DR.....	39
Figura 20 Hierarquia Funcional de acordo com [ISA95].	40
Figura 21 Pirâmide de automação de acordo com [Göhn09(b)]	40
Figura 22 Simplificação da Disciplina Tec. de Informação para este trabalho.	41
Figura 23 O que é Projeto em Engenharia de Plantas Industriais?.....	43
Figura 24 Modelo de SW de CLP na camada de Projeto do Domínio.....	44
Figura 25 FB de acordo com [IEC6113]: "Unidade comportamental reutilizável"	46
Figura 26 Formato dos artefatos técnicos: base para a adaptação da metodologia DE.....	47
Figura 27 Metodologia "DE adaptada" a ferramentas PLM baseadas no paradigma OO.....	49
Figura 28 Exemplo de Requisitos não funcionais do Domínio MPS.....	53
Figura 29 Exemplo de requisitos funcionais do Domínio MPS.....	54
Figura 30 Diagrama de Características do Domínio MPS.	55
Figura 31 Diagrama de Características (Estação de Separação vs. Modelo de Variações do Domínio).....	56
Figura 32 Diagrama de atividades: FB Medição de altura.	58
Figura 33 Plano pneumático existente da planta MPS do IAS.....	58
Figura 34 Uma pág. do Diagrama Unifilar (motores da planta MPS).....	59
Figura 35 Modelagem de FB's no Comos Logical (<i>Funktionsplan</i>).	65
Figura 36 Módulos da ferramenta Comos escolhidos.	66
Figura 37 Estação de Separação (ale. Verteilen) no Comos: Arquitetura em árvore.....	68
Figura 38 Desenhos mecânicos em 2D do modelo em 3D [Roth10] do Módulo <i>Umsetzer</i>	69
Figura 39 A Realização da mecânica no Comos ("Módul2 <i>Umsetzer</i> ").	70

Figura 40 A organização dos diagramas da Estação de Separação / Plano Pneumático PFSF.001.	71
Figura 41 Objeto A1 Ausschiebzylinder abaixo do Módulo 3.....	71
Figura 42 O objeto Y1 no diagrama unifilar PFSS.102 da Estação de Separação.	72
Figura 43 Repositório de FBs no Comos.	73
Figura 44 Funktionsplan PFFA.100 Estação de Separação.....	73
Figura 45 Parte do modelo de variações do Domínio MPS.	75
Figura 46 Option_1 Elétrica do acionamento do braço de rotação (ale <i>Rotationsarm</i>).	76
Figura 47 Variação multidisciplinar – dificuldade no Comos.....	77
Figura 48 Diagrama Unifilar (caso de plataforma de CLP definida pelo usuário).....	78
Figura 49 Correlação entre o Comos e as Plataformas de CLP Siemens.	79
Figura 50 Projeto vs. Realização de uma planta industrial.....	81
Figura 51 Projeto e Realização de FBs orientados a reuso.....	81
Figura 52 Ligação Requisitos/Funções/Artefatos Técnicos.	85
Figura 53 Os novos passos da metodologia DE adaptada em relação aos passos da existente.	87
Figura 54 Conexões do FB Zyl2	88
Figura 55 Conexões do FB Kranzylinder	89
Figura 56 Objeto Y2 é responsável pela interface do Objeto V1	90
Figura 57 Artefato técnico multidisciplinar reutilizável do Tipo A no Comos: <i>Ausschiebzylinder</i>	90
Figura 58 Artefatos não técnicos anexados como documento no Comos	91
Figura 59 Passo a ser executado em caso de uma modelagem mais abstrata.....	94
Figura 60 Passos dentro do Comos para uma modelagem mais abstrata	95
Figura 61 Resultado após a execução dos passos da metodologia "DE adaptada"	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Grau de variação dos artefatos técnicos reutilizáveis	25
Tabela 2: Estrutura do código do Módulo FB de Medição de altura [Eber09]	57
Tabela 3: DE1. Artefato técnico Tipo A: Cilindro de disparo (ale. <i>Ausschiebzylinder</i>)	62
Tabela 4: DE2. As disciplinas necessárias para o projeto do artefato <i>Ausschiebzylinder</i>	63
Tabela 5: Módulos do Comos e outras ferramentas para cada disciplina	63
Tabela 6: DE4. Software de CLP para o <i>Ausschiebzylinder</i>	64
Tabela 7: Estação de Separação (ale. <i>Verteilen</i>): Resultado do passo DE1	67

LISTA DE ABREVIATURAS

AE: Engenharia de Aplicação (ing. *Application Engineering*)

Comos ET: Comos para Eletrotécnica

Comos FT: Comos para Pneumática e Hidráulica

Comos FP: Comos para Plano de Funções (ale. *Funktionsplan*)

DA, DE, DR: Análise do Domínio (ale. *Domain Analyse*), Projeto do Domínio (ale. *Domain Design*), Realização/Implementação do Domínio (ale. *Domain Realisierung*)

DE: Engenharia de Domínio (ing. *Domain Engineering*)

DE adaptada: Engenharia de Domínio adaptada

DR: Repositório do Domínio (ing. *Domain Repository*)

FB: Blocos Funcionais do Software de CLP (ale. *Funktionsbaustein*)

IAS: Instituto de Automação Industrial e de Engenharia de Software da Universidade de Stuttgart

IHM: Interface Homem Máquina

MPS: Sistema de Produção Modular (ing. *Modular Production System*)

OO: Orientação a objetos

PLM: Gerenciamento do ciclo de vida de plantas industriais (ing. *Plant Lifecycle Management*)

SCADA: Sistemas Supervisórios e de aquisição de dados (ing. *Supervisory Control and Data Acquisition*)

1 INTRODUÇÃO

Visando reduzir os custos dos projetos de engenharia existe uma procura constante da indústria e da academia por novas metodologias.

Dados da indústria automobilística (fabricante alemã Daimler), segundo [Löwe09], apontam que as possibilidades de melhoria futura em sistemas de automação estão na redução de custos dos projetos, em especial nas etapas programação e posta-em-marcha, as quais representam 55% dos custos totais destes projetos de engenharia. A questão que se coloca é: como estes custos podem ser reduzidos?

Ao longo do tempo foram desenvolvidos diferentes métodos e procedimentos na Engenharia de Software, onde pode-se ressaltar a tentativa de aumento do grau de reutilização do código em busca de economia de custo e tempo de desenvolvimento, especialmente considerando-se que frequentemente aplicações com grande similaridade devem ser desenvolvidas. Em situação oposta se encontra a Engenharia de Plantas industriais, onde o termo reuso encontra desafios complicadores.

Neste contexto se encontra um tema de pesquisa do Instituto de Automação e Engenharia de Software (IAS) da Universidade de Stuttgart, o qual trabalha em uma nova metodologia, que se baseia na metodologia de Engenharia de Domínio (DE), comumente conhecida na Engenharia de Software [CzEi00]. O objetivo desta nova metodologia é o emprego dos mesmos princípios de reuso da engenharia de Software em sistemas de automação (produtos e plantas industriais).

Os desafios técnicos e científicos deste trabalho de mestrado se encontram neste ponto. Os requisitos e características com respeito a reuso em sistemas de automação se diferem da engenharia de Software.

Além disso serão abordadas neste trabalho de mestrado as ferramentas PLM (*Production or Plant Lifecycle Management*). Algumas destas ferramentas se baseiam no paradigma de orientação a objetos da engenharia de Software, que traz novas possibilidades com respeito ao reuso em engenharia de plantas industriais, em especial quando múltiplas disciplinas estão presentes.

Com o objetivo final de possibilitar ou viabilizar o aumento de ganhos através de reuso em engenharia de plantas industriais será analisada em detalhe neste trabalho a metodologia "Engenharia de Domínio (DE) para sistemas de automação", desenvolvida no IAS no âmbito de uma tese de doutorado [Maga09(c)], assim como a possível execução desta metodologia em conjunto com ferramentas PLM para a engenharia de plantas industriais.

1.1 Atividades realizadas e objetivos deste trabalho de mestrado

Em primeiro momento será apresentada uma análise do estado da arte relacionado à metodologia orientada a reuso denominada "Engenharia de Domínio (DE)" e a ferramentas PLM, com especial atenção para o paradigma de orientação objetos presente em algumas destas ferramentas.

O principal objetivo do trabalho é possibilitar a criação de artefatos técnicos reutilizáveis após a execução dos passos da metodologia DE em conjunto com uma ferramenta PLM para um determinado domínio. Além disso a questão da integração dos dados dos artefatos técnicos nas diferentes disciplinas de engenharia também será abordada. Para tal foi elaborado o conceito de um artefato técnico com múltiplas visões e/ou disciplinas, e em seguida uma metodologia de "Engenharia de Domínio adaptada" a este conceito foi concebida.

A validação experimental da proposta desenvolvida será realizada usando-se a ferramenta PLM Comos da empresa Siemens. Cabe ressaltar que a opção pela ferramenta Comos da Siemens é decorrente da parceria hoje existente entre a Siemens e o IAS. Os passos

da metodologia "DE adaptada" elaborada neste trabalho serão executados para o estudo de caso "Sistema Modular de Produção" disponível no IAS. O resultado esperado (vide Fig.1) é a criação e armazenamento de artefatos técnicos reutilizáveis (protótipo), que possibilitem a engenharia de diversas novas plantas MPS dentro de um pré-definido modelo de variações.

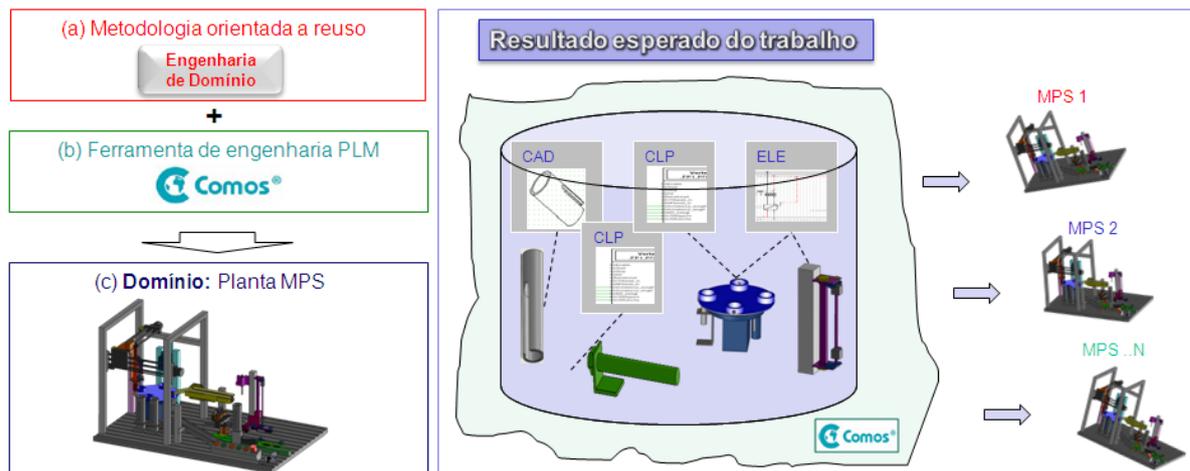


Figura 1 Resultado esperado: DE + ferramenta PLM para o Domínio MPS.

1.2 Estrutura deste documento

Esta dissertação de mestrado está estruturada da seguinte forma: no capítulo 2 serão apresentados os trabalhos nos quais a presente dissertação é baseada: os fundamentos da existente metodologia de "Engenharia de Domínio" desenvolvida no IAS, além dos princípios das ferramentas PLM, com especial destaque para a ferramenta Comos da empresa Siemens. Além disso serão apresentadas informações básicas do Sistema Modular de Produção (MPS), que será utilizado como estudo de caso de validação do trabalho.

No capítulo 3 será apresentado o conceito básico deste trabalho, que será a base para as modificações posteriores da metodologia de Engenharia de Domínio. O capítulo 4 apresenta a metodologia proposta neste trabalho, uma extensão à metodologia desenvolvida no IAS e que será chamada de "DE adaptada".

No capítulo 5 será detalhada a execução de todos os passos da metodologia "DE adaptada" para o Domínio MPS. As modificações da metodologia adaptada com relação a metodologia "DE existente" serão detalhadas no capítulo 6. No capítulo 7 serão descritos conceitualmente os pontos positivos e negativos da ferramenta PLM Comos levantados durante a execução dos passos da metodologia "DE adaptada".

No capítulo 8 serão apresentados as condições e requisitos para a utilização desta metodologia "DE adaptada" em projetos futuros.

No final (capítulo 9) serão sintetizados os resultados deste trabalho, assim como possíveis temas para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na seção 2.1 será abordada a metodologia "Engenharia de Domínio" ou "Domain Engineering (DE)" no âmbito da engenharia de Software e para sistemas de automação. Já na seção 2.2 as ferramentas PLM serão analisadas, em especial a ferramenta Comos da Siemens. Na seção 2.3 o Domínio MPS será resumidamente descrito.

2.1 Engenharia de Domínio para sistemas de automação

Primeiramente será definido o que são sistemas de automação (2.1.1). Nos capítulos 2.1.2 até 2.1.5 será descrita uma metodologia de Engenharia de Domínio desenvolvida no âmbito de uma tese de doutorado no Instituto IAS da Universidade de Stuttgart. Para finalizar serão identificadas algumas lacunas da metodologia DE proposta no IAS, as quais serão abordadas neste trabalho.

2.1.1 Sistemas de automação

Segundo [LaGö99] um sistema de automação consiste dos seguintes subsistemas:

- (a) um sistema técnico, que pode ser representado por um dispositivo, um equipamento ou uma planta,
- (b) um processo técnico, através do qual o estado atual da Matéria, Energia ou Informação são alterados,
- (c) computador e um sistema de comunicação, além de
- (d) um sistema de operação.

De acordo com [Maga09(c)] um sistema de automação pode ser dividido da seguinte forma (vide Fig.2):

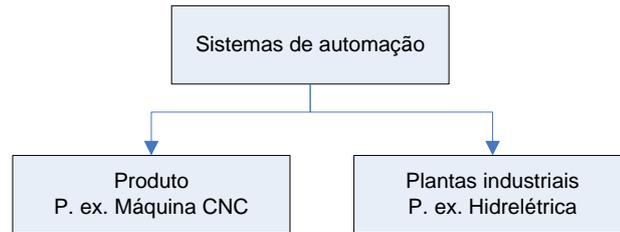


Figura 2 Sistemas de automação segundo [Maga09(c)].

Produtos e plantas industriais se diferem conceitualmente especialmente pelo seu grau de variação. Produtos são desenvolvidos uma vez e produzidos em série, já plantas industriais são geralmente desenvolvidas uma única vez, pois os requisitos de cada aplicação se diferem em alto grau um ao outro.

Neste trabalho de mestrado serão abordadas em mais detalhes plantas industriais, como seus procedimentos de engenharia, subsistemas e normas relacionadas.

2.1.2 Engenharia de Domínio: originária da engenharia de Software

Def. Engenharia de Domínio: De acordo com [Maga09(a)], a Engenharia de Domínio suporta o desenvolvimento de novos sistemas aumentando o grau de reuso durante todo o processo de engenharia, para que as soluções específicas e dependentes de cada aplicação possam ser desenvolvidas a partir de um Repositório contendo artefatos independentes das aplicações futuras. O desenvolvimento da solução de engenharia específica ou dependente da aplicação deve então ser sistematizado, de tal forma que os novos sistemas sejam elaborados com mínimos esforços de engenharia.

[Maga09(c)] distingue o conceito de Engenharia de Domínio como usualmente adotado na Engenharia de Software para a engenharia de sistemas de automação da seguinte forma: "Engenharia de Domínio (DE) é o processo sistemático de Análise, Projeto e Realização/Implementação de componentes reutilizáveis de Software de um Domínio [CzEi00] e é executado independente de um projeto concreto. Os componentes de Software reutilizáveis são armazenados em uma Biblioteca ou Repositório do Domínio (do inglês "*Domain Repository*" - DR) e durante a fase de aplicação (do inglês "*Application*

Engineering”) serão utilizados para o desenvolvimento de aplicações específicas em diferentes projetos.

As metodologias de Engenharia de Domínio devem auxiliar os desenvolvedores na criação dos componentes de Software reutilizáveis através de um procedimento metódico e estruturado. Experiências relatam reduções de custo com a aplicação destas metodologias [ADH+00]."

A metodologia Engenharia de Domínio da Engenharia de Software não pode ser usada sem alterações em sistemas de automação. [Maga09(c)] aponta que a metodologia Engenharia de Domínio precisa endereçar outros aspectos presentes em sistemas de automação como a relação entre o processo técnico e o sistema técnico de automação, dependências físicas e documentação.

O resultado final do desenvolvimento de um sistema na engenharia de Software é puramente código. O principal desafio na adaptação da engenharia de domínio para sistemas de automação na opinião deste autor não está direta e claramente descrito na referência acima e seria efetivamente: a presença de várias disciplinas. Esta questão, isto é a existência de várias disciplinas, mas principalmente a integração dos dados entre estas disciplinas será abordado no decorrer deste trabalho.

2.1.3 Engenharia de Domínio proposta pelo IAS: Descrição e Objetivos

A metodologia de Engenharia de Domínio (DE) para sistemas de automação sendo proposta no IAS, estrutura o desenvolvimento orientado a reuso e a componentes de um sistema de automação em duas fases, similares à engenharia de Software:

Engenharia de Domínio - DE (vide figura 3), na qual artefatos reutilizáveis devem ser criados e armazenados em um repositório do domínio - DR (vide figura 3).

Engenharia de Aplicação - AE (vide figura 3), na qual os artefatos reutilizáveis armazenados no repositório do domínio devem ser adaptados às diferentes aplicações.

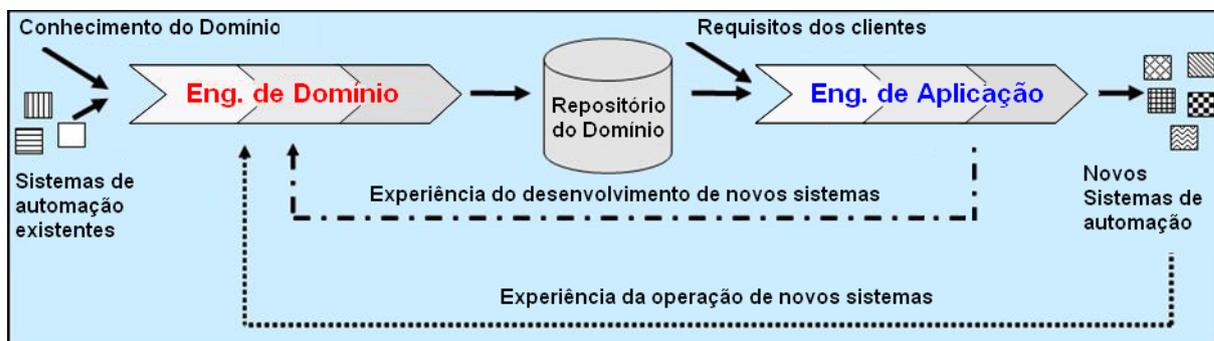


Figura 3 DE, DR e AE.

DE pode ser também considerado como engenharia independente de projetos e AE como engenharia dependente do projeto.

Para este trabalho de mestrado os passos da fase DE serão considerados. De acordo com [Maga08] os objetivos de Engenharia de Domínio (DE) para sistemas de automação são:

- Criação de componentes modulares e parametrizáveis, que sejam facilmente administráveis e adaptáveis para novas aplicações
- Facilidade de integração das diferentes soluções parciais
- Suporte a diferentes visões e transferência de informações entre as diferentes disciplinas.

2.1.4 Engenharia de Domínio proposta pelo IAS: Passos

De acordo com [Maga09(c)], a metodologia Engenharia de Domínio (DE – parte independente do projeto) para sistemas de automação, no qual o objetivo é a criação de artefatos reutilizáveis de um domínio, divide-se em: Análise do Domínio, Projeto do Domínio e Implementação/Realização do Domínio. Todos os passos da metodologia "DE existente" estão na figura 4 detalhados.

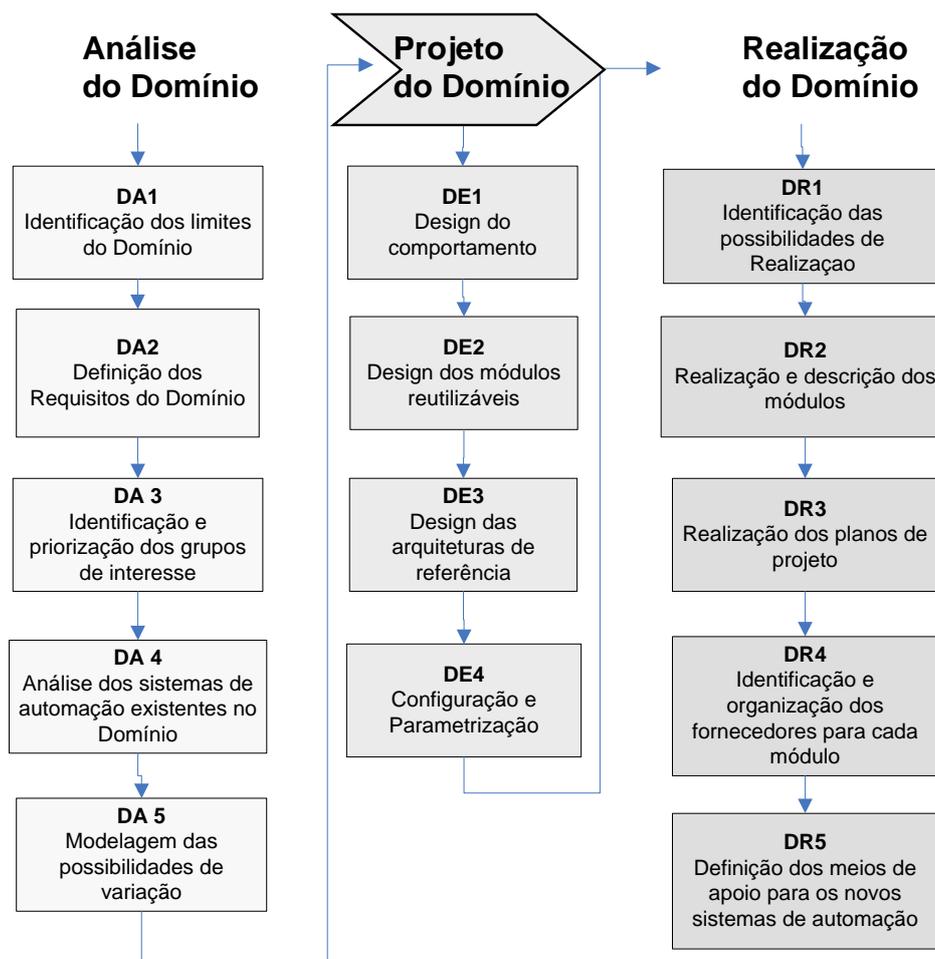


Figura 4 Os passos da metodologia DE existente no IAS.

De acordo com [Maga08], [Maga09(a)], [Maga09(b)] e [Maga09(c)] as principais atividades e resultados da Análise, Projeto e Implementação/Realização do Domínio serão a seguir resumidos (vide fig. 4).

2.1.4.1 Análise do Domínio

Nesta fase o Domínio será definido e descrito. Atividades como a Identificação dos limites/fronteiras, assim como dos requisitos do Domínio são executadas no começo desta fase.

Uma das principais atividades desta fase é a "Definição das possibilidades de variação do Domínio". Nesta atividade serão definidas as futuras possíveis variações nas Aplicações do Domínio (*Application Engineering*). As possíveis variações do Domínio englobam entre

outras variações funcionais e dos parâmetros qualitativos e quantitativos de Projeto. Um exemplo simples de variação seria um artefato técnico com tamanho configurável, por exemplo, para a aplicação A teria o parâmetro altura 1 metro, e para a Aplicação B, este mesmo parâmetro poderia variar até 2 metros. As variações do Domínio e suas interdependências podem ser modeladas através de um perfil na linguagem SysML "SysML-Profile" [OMG Sys], ou Diagrama de Características [KCH+90], [CzEi00].

Além disso, durante a Análise do Domínio devem ser analisados os existentes sistemas de automação do domínio.

2.1.4.2 Projeto do Domínio

Enquanto na fase de Análise do Domínio o foco é na especificação dos requisitos a serem atendidos (descrição do problema), na fase de Projeto do Domínio se modifica o foco em direção a questões técnicas referentes ao desenvolvimento do projeto e/ou solução. Esta fase engloba entre outros uma modelagem do comportamento (ing. "*Behavior Modelling*") e das arquiteturas de referência.

As arquiteturas de referência são organizações gerais em diferentes abstrações de artefatos reutilizáveis de um domínio. Uma arquitetura de referência descreve a estrutura de um sistema de automação, contendo conceitos e regras com respeito à estrutura e possíveis relações entre os módulos de um sistema de automação [Maga09(a)].

Alguns exemplos de arquiteturas de referência são apresentados a seguir:

- Arquitetura de referência com respeito a funcionalidades (p. ex: Diagrama de funções e características)
- Arquitetura de referência com respeito à localização (p. ex: diagramas topográficos)
- Arquitetura de referência com respeito ao produto (p. ex: lógicas de automação)

- Arquitetura de referência com respeito ao meio físico (p. ex: diagramas mecânicos CAD)
- Arquitetura de referência com respeito a problemas (p. ex: combinação entre parte física, funcional e lógica)

Em um domínio podem existir ao mesmo tempo várias arquiteturas de referência.

Os modelos que descrevem o comportamento dos sistemas de automação devem ser conectados com os respectivos módulos das Arquiteturas de Referência. Além disso as ferramentas para Planejamento e Simulação do sistema de automação devem ser identificados e também armazenados no repositório do domínio.

2.1.4.3 Realização do Domínio

A Realização do Domínio trata da criação de artefatos que serão preparados em diferentes formas para o seu reuso ou aplicação posterior.

Os artefatos reutilizáveis, que estão salvos no DR, serão aplicados em diferentes projetos.

Durante o estudo de caso apresentado em [Maga09(a)], onde a metodologia de Engenharia de Domínio foi executado para o domínio: "Elevador de pessoas e de cargas" foram identificados 3 tipos de artefatos reutilizáveis, a seguir apresentados:

Tipo A: artefatos estáticos, que podem ser reutilizados sem modificações em diferentes aplicações.

Tipo B: artefatos configuráveis e parametrizáveis, que podem ser adaptados aos requisitos dos clientes e/ou aplicações. P. ex: sistema de controle de elevador, configurável em função de diferentes velocidades do carro do elevador.

Tipo C: artefatos genéricos, que contém apenas indicações quanto a funcionalidades e interfaces em uma abstração mais alta.

Para um melhor entendimento, estes artefatos técnicos foram classificados na tabela abaixo conforme o seu possível grau de variação.

Tabela 1: Grau de variação dos artefatos técnicos reutilizáveis

Componentes		Grau de variação
Tipo A	Estáticos	Nenhum
Tipo B	Param./Config.	Baixo
Tipo C	Genéricos	Alto

2.1.5 Engenharia de Domínio proposta pelo IAS: Lacunas

De acordo com [PBL05] artefatos reutilizáveis na Engenharia de Domínio presente na engenharia de Software podem ser também não-técnicos como Modelos de Variação (ing. *Variability Model* - vide fig. 5), onde as possíveis variações futuras do domínio (referente a Engenharia de Aplicação - AE) devem ser identificadas e modeladas.

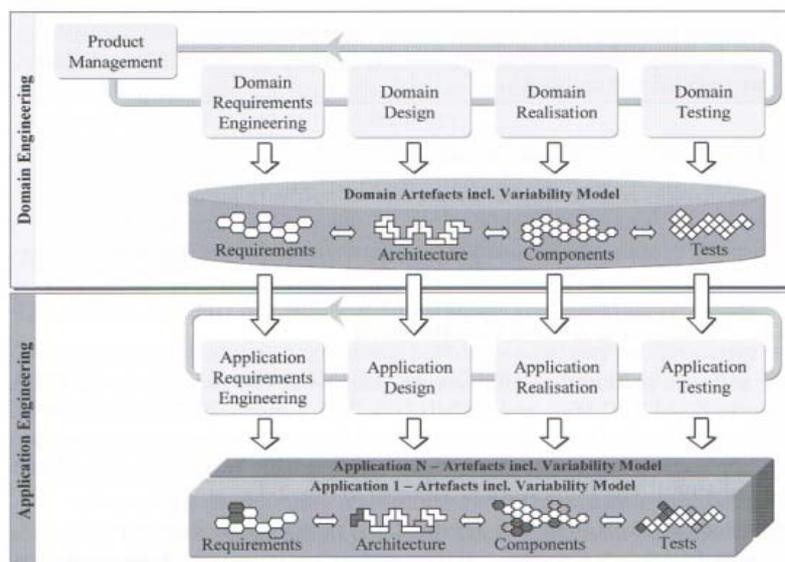


Figura 5 Modelo de Variações – Artefato reutilizável (DE na Eng. de Software) [PBL05].

Conforme já comentado, a metodologia proposta em [Maga08], [Maga09(a)], [Maga09(b)] e [Maga09(c)] e que é usada como base deste trabalho, parte da adaptação de características da Engenharia de Domínio da engenharia de Software para sistemas de

automação. Por decorrência disso a metodologia DE engloba passos estruturados para artefatos técnicos e não-técnicos também no âmbito de sistemas de automação (vide fig. 6).

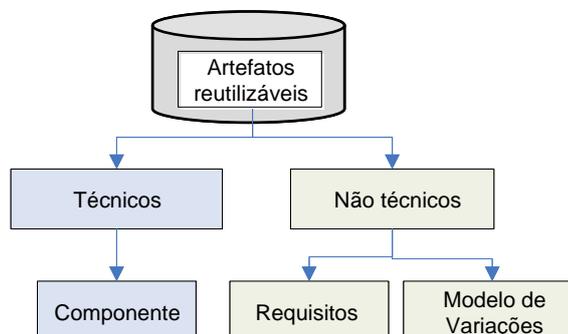


Figura 6 Artefatos reutilizáveis.

Diferente da abordagem existente, serão considerados neste trabalho apenas os artefatos técnicos (que englobam informações das disciplinas: elétrica, mecânica, pneumática, entre outras) como reutilizáveis e passíveis de armazenamento no Repositório do Domínio. Esta simplificação se deve ao fato deste trabalho precisar considerar as restrições das ferramentas PLM para sistemas de automação, que não oferecem suporte estruturado para o armazenamento e reuso de artefatos não-técnicos, como acontece na engenharia de Software.

É importante ressaltar que os passos da metodologia "DE existente" são abstratos, como "DE1 Design do comportamento", "DE3 Design de Arquiteturas de Referência" e "DR2 Realização de módulos" (ver passos da metodologia "DE existente" na figura 4). A razão disto é que a metodologia existente no IAS é abrangente, isto significa que a mesma não foi elaborada tendo em vista algum sistema específico de automação ou para ser executada em conjunto com alguma plataforma ou ferramenta de engenharia em especial.

Além disso, decorrente desta abstração, os passos atuais da metodologia não tratam diretamente a integração dos dados entre diferentes artefatos técnicos das diferentes disciplinas.

Estes são os pontos, que serão diretamente abordados no decorrer deste trabalho. Isto é, buscar uma abordagem prática da metodologia de Engenharia de Domínio focada somente em artefatos técnicos, para ser executada em conjunto com ferramentas de engenharia PLM para engenharia de plantas industriais. Neste contexto é relevante a abordagem prática da integração e verificação de consistência das informações contidas nas diferentes visões ou modelos usados pelas diferentes disciplinas presentes no desenvolvimento de sistemas de automação. Na opinião deste autor este é o principal desafio na adaptação da engenharia de domínio da engenharia de Software para sistemas de automação.

2.2 Ferramentas PLM

Diferentes ferramentas PLM (eng. *Product Lifecycle Management*) estão disponíveis no mercado [Ming05], com o objetivo de gerenciar os produtos durante todo o seu ciclo de vida, passando pelo design e manufatura, até serviço e descarte. *Product Lifecycle Management* tem sido historicamente visto nas áreas de manufatura, construção naval e aeroespacial [Stau08].

Um conceito similar é o chamado *Plant Lifecycle Management*, também referenciado pela mesma sigla PLM, porém com o foco em gerenciar ativos de engenharia, ao invés de produtos. No decorrer deste trabalho a sigla PLM estará referenciado: *Plant Lifecycle Management*.

Diferentes vantagens durante o desenvolvimento de novos projetos de engenharia são trazidas pelas diferentes ferramentas que suportam o conceito de PLM, como a possibilidade de suporte para o desenvolvimento de projetos envolvendo equipes multi-disciplinares e geograficamente distribuídas (como no caso de projetos desenvolvidos concorrentemente por equipes em diferentes países), 3D Design, assim como a possibilidade de simulações realísticas das futuras instalações.

2.2.1 PLM (*Plant / Production Lifecycle Management*)

O conceito de Gestão do Ciclo de Vida de Plantas Industriais ("*Plant Life-Cycle Management*") torna-se importante em função de que o tempo de vida de plantas industriais é de uma ordem de grandeza maior quando comparado ao tempo de vida de projetos. Exemplos de [wwwCOMO] indicam a necessidade de 4 a 5 anos para a engenharia de uma planta industrial – da concepção até a posta-em-marcha, enquanto o tempo de vida da mesma planta seria da ordem de 40 a 50 anos – de operação, manutenção até o descarte.

Foi desta relação entre o tempo de engenharia e o tempo de operação/manutenção que surgiu a principal motivação para o desenvolvimento de uma abordagem diferenciada e integrada para tratar com os ativos de engenharia de plantas industriais durante todo o seu ciclo de vida.

O desenvolvimento de projetos de engenharia de plantas industriais inclui o desenvolvimento de diferentes subsistemas de diferentes disciplinas de engenharia, como elétrica, mecânica, civil, automação, entre outros. A integração destas disciplinas é geralmente complexa, até porque diferentes ferramentas, especializadas nos requisitos de cada disciplina, são usualmente separadamente utilizadas.

Esta dificuldade de integração da documentação técnica dos ativos de uma planta gera enormes problemas não só no desenvolvimento de novos projetos, mas principalmente durante a operação e manutenção da mesma.

A idéia de *Plant Lifecycle Management* é gerenciar os ativos de engenharia de uma forma integrada, desde a concepção e desenvolvimento da planta, ou projetos de melhoria e expansão, passando pela sua operação e manutenção até o descomissionamento [Stau08].

2.2.2 Paradigma de orientação a objetos e integração entre as disciplinas

De acordo com [wwwCOMO] 90% dos projetos de engenharia de hoje são orientados a documento. Isto significa que os artefatos técnicos de uma disciplina não são automaticamente conectados com artefatos técnicos de uma outra disciplina.

Os projetos de engenharia de uma planta industrial são comumente desenvolvidos usando-se diferentes ferramentas, que são especializadas em cada disciplina, como por exemplo: E-CAD para projetos da parte elétrica, CAD para as áreas mecânica e pneumática, além de ferramentas para programação e modelagem de Software de CLP.

A integração destas informações (dados/modelos) é complicada, porém necessária, porque p. ex. alterações em modelos de uma disciplina têm influência em modelos de outras disciplinas (quando se modifica um motor elétrico devem ser analisados não somente os diagramas construtivos - mecânicos - do mesmo, como também p. ex. dispositivos contra sobrecarga - diagramas elétricos).

Surpreendente é que esta integração nos projetos de engenharia orientados a documento é normalmente realizada manualmente. Isto é realizado através de Tags, que referenciam os ativos nas diferentes disciplinas.

Esta característica ou problema foi caracterizado como "fluxo de dados descontínuo" em [Maga08]. [Maga08] vai além e aponta que a troca de informações deve considerar todas as fases de Engenharia.

Com relação à engenharia de plantas de processo, em especial óleo e gás, existem iniciativas para padronizar o formato de troca de dados, tal como o Padrão ISO 15926 [ISO1592].

Fluxo de dados descontínuo causa grande complexidade em um projeto e demanda mais tempo de desenvolvimento, não contribuindo para um aumento da qualidade [Zeid07]. O

desenvolvimento separado por disciplinas nos projetos de engenharia e o uso de diferentes conceitos contribuem também para um armazenamento de dados redundante [Nale09].

[ZVEI06], em um artigo que avalia tendências em sistemas de automação, reconhece a necessidade de um conceito que integre as diferentes visões.

Mas para abordar este ponto, ou seja integração dos dados entre as diferentes disciplinas, algumas ferramentas PLM trazem para engenharia de plantas industriais a idéia do emprego de propriedades como Instância, Herança e Interface do paradigma de orientação a objetos da engenharia de Software (vide fig. 7).

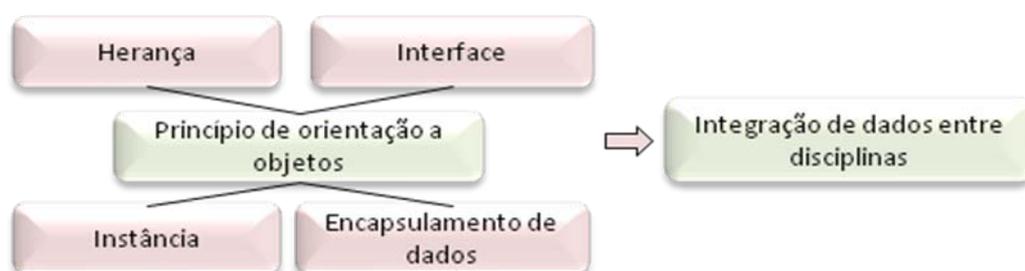


Figura 7 Paradigma de Orientação a objetos.

Este fato trouxe novas possibilidades de pesquisa com respeito ao tema reuso em engenharia de plantas industriais, em especial quando se considera esta possibilidade de integração dos dados entre as disciplinas.

2.2.3 A ferramenta Comos

Para o teste posterior do conceito e da adaptação da metodologia DE neste trabalho de mestrado será considerada a ferramenta PLM Comos da Siemens [Como06], uma das mais avançadas ferramentas de PLM disponíveis comercialmente.

A idéia básica da ferramenta é a administração da informação dos ativos de engenharia durante o ciclo de vida da planta industrial, ou permitir a transferência dos dados da fase de Engenharia para a fase de Operação e Manutenção sem perdas.

Para uma melhor visualização dos Módulos da ferramenta, o ciclo de vida de uma planta industrial é dividido em duas fases (vide fig. 8):

(1) Engenharia

(2) Operação

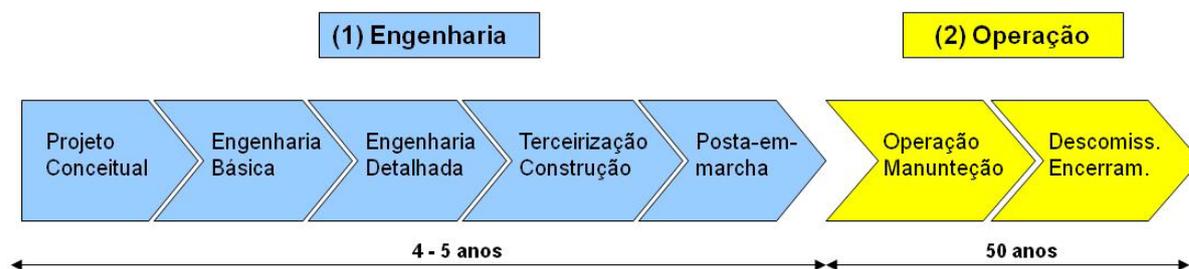


Figura 8 Ciclo de vida de uma planta industrial (de acordo com [wwwCOMO]).

A fase (1) "Engenharia" corresponde à etapa de projeto, sendo suportada por diferentes módulos na ferramenta Comos: Comos "Basic" (módulo com as funcionalidades básicas), "E&IC" (Instrumentação e controle), "ET" (Elétrica), "Fluidtechnik" (Hidráulica e pneumática), "Logical" (para modelagem da solução de automação como Software de CLP), "Isometrics" (Tubulações), "ME-Mechatronic" (engloba em um só módulo o desenvolvimento mecânico, elétrico e de automação). Comos oferece também Interfaces com outras ferramentas (CAD ou 3D p. ex.) através do Comos "Interface", "PDMS Integration" (integração com diagramas em 3D da ferramenta PDMS) ou "Motion" (para interface XML).

Comos "iAge" para gerenciamento de manutenção, "Direkt" com funcionalidades Touchscreen e scanner de código de barras para manutenção da planta, Comos "View/View+" ou "Webview" para visualização e gerenciamento de dados e Comos "Shutdown" para o descomissionamento da planta, entre outros, suportam a fase (2) Operação da Planta.

Importantes para este trabalho de mestrado são os módulos do Comos destacados na fig. 9, porque estes módulos suportam a fase (1) Engenharia de uma planta industrial, mas sobretudo cobrem as disciplinas existentes no domínio escolhido para o estudo de caso ou protótipo deste trabalho (MPS - Sistema Modular de Produção), que será melhor descrito no próximo capítulo.



Figura 9: Módulos do Comos para engenharia de plantas industriais.

Importante também ressaltar que a ferramenta COMOS suporta o paradigma de orientação a objetos, entre outros, para viabilizar a integração dos dados dos artefatos técnicos de diferentes disciplinas (ver figura 10).

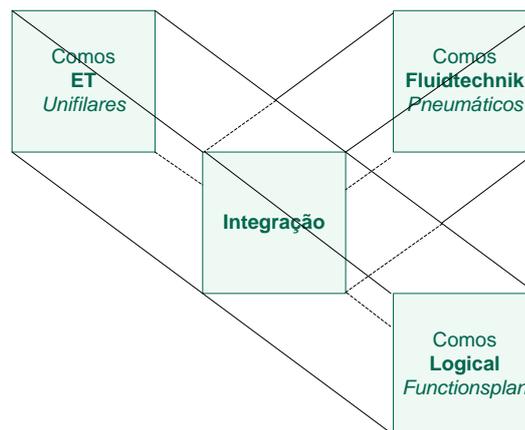


Figura 10: Integração entre os módulos do Comos.

Esta integração dos módulos do Comos será melhor detalhada durante a descrição do protótipo deste trabalho de mestrado, em especial seções 5.3 e 7.1.

2.3 Sistema Modular de Produção (MPS)

O Sistema Modular de Produção é uma planta didática da empresa alemã Festo Didaktik, a qual contém 4 estações (vide fig. 11).

Como peças a serem processadas, são usados pedaços cilíndricos, os quais podem ser diferenciados em função de sua cor (vermelha, preta, prata), material (alumínio, plástico) e altura. As peças percorrem as 4 estações.

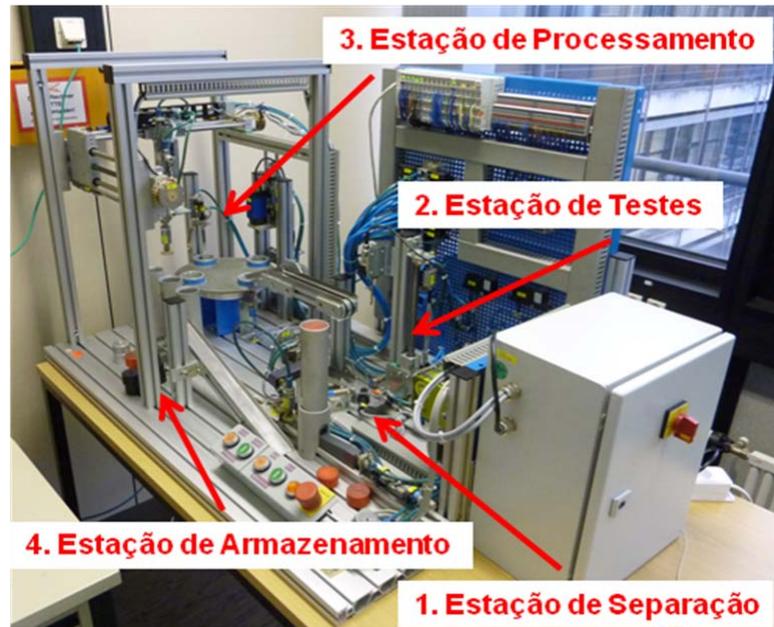


Figura 11 Foto da Planta MPS

2.3.1 Descrição

O Sistema Modular de Produção contém 4 estações [Frit09]:

Estação de separação (ale. *Verteilstation*): Esta estação (vide fig. 12) é responsável pela separação e individualização das peças dos magazines e a passagem destas peças para a Estação de testes.

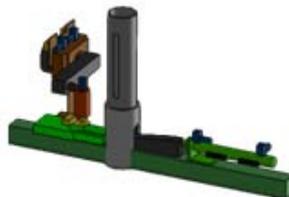


Figura 12 Estação de separação

Estação de testes (ale. *Prüfstation*): Nesta estação (fig. 13) as peças serão testadas de acordo com o material e altura. Caso os requisitos do material não sejam atendidos, as mesmas serão descartadas através de um escorregador.

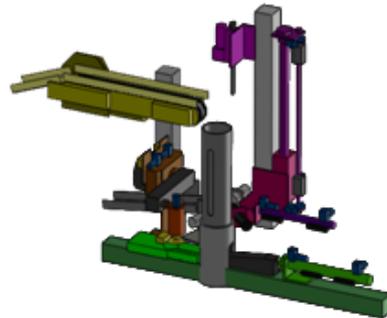


Figura 13 Estação de Separação + Estação de testes

Estação de processamento (ale. *Bearbeitungsstation*): Nesta estação (fig. 14) as peças serão furadas.

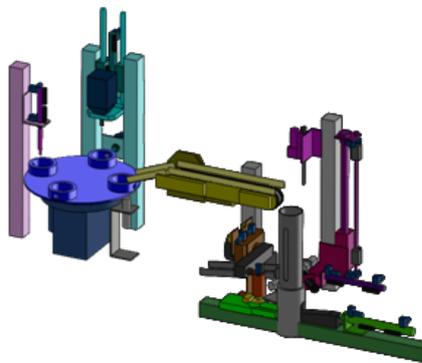


Figura 14 Estação de Separação, de Testes e de processamento

Estação de armazenamento (ale. *Lagerstation*): Nesta estação (fig. 15) as peças serão ordenadas em magazines de acordo com as suas cores.

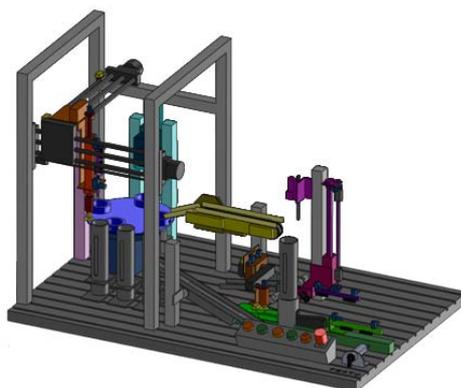


Figura 15 Planta MPS com as 4 estações

Neste capítulo foram analisadas referências bibliográficas dentro do contexto deste trabalho de mestrado. Com base nestas referências foram identificadas lacunas, que serão abordadas no capítulo seguinte, durante a parte conceitual do trabalho.

3 CONCEPÇÃO

Conforme mencionado, os passos da metodologia "DE existente" não tratam de forma prática a questão da integração dos dados dos artefatos técnicos das diferentes disciplinas, pois são muito abstratos.

Esta abstração dificulta também a implementação prática desta metodologia para algum domínio concreto. Como comentado anteriormente, o objetivo principal deste trabalho é viabilizar a criação de artefatos técnicos reutilizáveis para um domínio concreto após a execução de todos os passos da metodologia. Além disso, estes artefatos técnicos reutilizáveis devem ser criados e armazenados em uma ferramenta PLM (*Plant Lifecycle Management*) para posterior aplicação em vários projetos dentro do domínio pré-definido.

Os seguintes pontos (fig. 16) foram analisados e serviram como base para a concepção de uma metodologia "DE adaptada", cujos novos passos serão esclarecidos no capítulo 4.



Figura 16 Pontos principais analisados durante a Concepção deste trabalho.

Na seção 3.1 será apresentada uma análise detalhada das referências apresentadas na figura 16.

Na seção 3.2 serão sintetizados os resultados da concepção, quando será apresentado o conceito principal do trabalho, que é a base para a modificação dos passos da metodologia.

3.1 Engenharia de plantas industriais: Reuso e a existência de múltiplas disciplinas

Em engenharia de plantas industriais cada disciplina se concentra na sua própria visão da planta [Nale09].

As disciplinas em separado desenvolveram ao longo do tempo abordagens orientadas a reuso. Por exemplo: Mecânica, através de ferramentas CAD e Elétrica, através de ferramentas E-CAD são exemplos de disciplinas, nas quais o conceito de repositório de objetos, e a propriedade Instância (do paradigma de orientação a objetos) são suportados.

O que falta em engenharia de plantas industriais é um conceito para reutilização que abranja a integração das múltiplas disciplinas [Nale09].

A norma [VDI2206] descreve mecatrônica como a "*sinérgica combinação das disciplinas mecânica, elétrica e tecnologia de informação para o projeto e criação de soluções industriais, como também para a modelagem de processos*". Ou seja, mecatrônica engloba conceitos de elétrica, mecânica e tecnologia de informação (fig. 17).

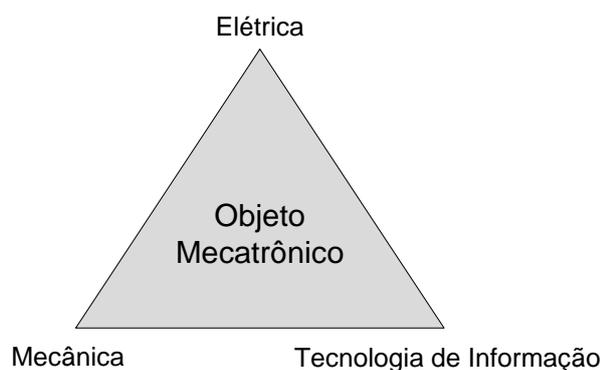


Figura 17 Objeto mecatrônico [VDI2206].

[Nale09] propôs um conceito próprio de um objeto e de um bloco mecatrônico visando viabilizar a aplicação dos passos orientativos ao desenvolvimento de sistemas mecatrônicos presentes em [VDI2206] no módulo "Mechatronic" da ferramenta PLM Comos.

Já [TeGe09] propõe o conceito de um "objeto mecatrônico virtual", onde se pode destacar o refinamento da disciplina Tecnologia de Informação considerando somente automação, que significa aqui Software e hardware de CLP, assim como IHM (Interface Homem Máquina) e sistemas SCADA ("*Supervisory Control and Data Acquisition*"). [TeGe09] apontam também que o objeto mecatrônico virtual deve englobar informações não-técnicas, como por exemplo: relativas ao gerenciamento de projetos.

Com respeito aos requisitos de um Repositório do Domínio, [Maga09(d)] propõe o conceito de artefatos reutilizáveis com várias visões, onde cada visão corresponde a uma disciplina (ver figura 18).

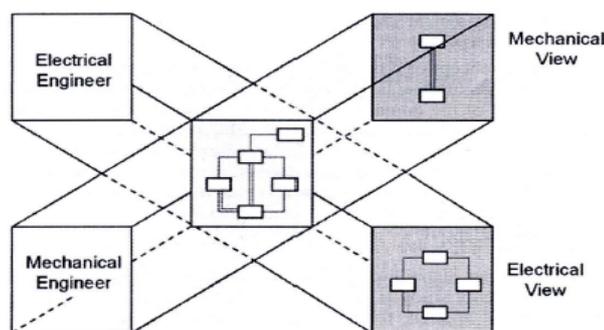


Figura 18 Requisito dos artefatos em um Domain Repository segundo [Maga09(d)].

Outras abordagens sobre o assunto podem ser também encontradas em [PeKi93] e [PeDa96].

3.1.1 Conceito de um "artefato técnico multidisciplinar reutilizável"

Com base na definição e conceitos básicos do objeto mecatrônico de acordo com [VDI2206], dos resultados dos trabalhos de [Nale09], [TeGe09] e [Maga09(d)], além da identificação da presença do paradigma de orientação a objetos da engenharia de Software em ferramentas PLM, em especial no que tange a engenharia de plantas industriais, o seguinte conceito foi elaborado neste trabalho: "artefato técnico multidisciplinar reutilizável", onde

cada "disciplina-visão" é o modelo ou realização/implementação do artefato técnico através do paradigma de orientação a objetos em ferramentas PLM (vide fig. 19).



Figura 19 Formato dos artefatos técnicos a serem criados e armazenados no DR.

Este formato e/ou estrutura aqui apresentado servirá como base para as adaptações na metodologia existente. Além disso, a meta após a execução dos passos da metodologia DE para este trabalho passa a ser a criação e armazenamento no Repositório do Domínio de artefatos técnicos reutilizáveis neste formato.

Reuso na disciplina "tecnologia de informação", assim chamada por [VDI2206] e [Nale09], ou "automação" por [TeGe09], ou "Comportamento" por [Maga09(d)] necessita uma abordagem mais detalhada, como na seguinte seção.

3.1.2 A disciplina: Tecnologia de Informação

De acordo com [ISA95], a hierarquia funcional de uma empresa é apresentada na figura abaixo. As camadas 0,1,2,3,4 são responsáveis por distintas funções/atividades (ver figura 20).

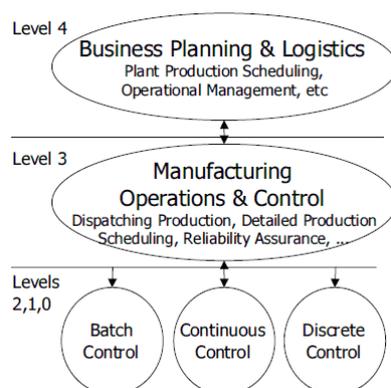


Figura 20 Hierarquia Funcional de acordo com [ISA95].

[Göhn09(b)] apresenta esta mesma hierarquia funcional através de um modelo de camadas para o controle de processos técnicos (ver fig. 21).

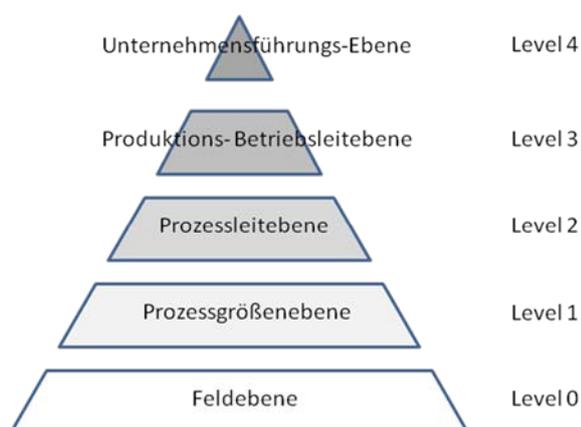


Figura 21 Pirâmide de automação de acordo com [Göhn09(b)]

A seguir será descrito o que cada camada engloba:

- **Nível 0** Camada de campo (ale. *Feldebene*): Sensores e atuadores (Instrumentação)
- **Nível 1** Camada de controle do processo (ale. *Prozessgrößenebene*): Sistemas de controle (P. ex.: Hardware e Software de CLP)
- **Nível 2** Camada de operação do processo (ale. *Prozessleitebene*): Sistemas de Operação (P. ex.: Supervisórios e IHM - Interface Homem Máquina)

- Nível 3 Camada de Controle da produção (ale. *Produktions- Betriebsleitebene*): Aqui estão presentes sistemas como MES (*Manufacturing Execution System*) ou PIMS (*Plant Information Management System*), onde funções como o controle de ordens de produção, ou tracking do material são realizadas.
- Nível 4 Camada de Planejamento de Recursos da empresa (ale. *Unternehmensführungs-Ebene*): Aqui estão presentes por exemplo: ERP (eng. *Enterprise Resource Planning*), onde funções como controle de estoque, vendas, fornecimentos, clientes são realizadas.

A visão relativa a tecnologia de informação de um artefato técnico reutilizável deveria considerar idealmente todos os aspectos da pirâmide. Desta forma os ganhos com reutilização seriam maximizados. Em outras palavras tudo seria reutilizado.

Mas isto é utopia, pelo menos quando o objetivo é uma abordagem prática do assunto, que é o caso deste trabalho de mestrado. Desta forma, o primeiro passo adotado nesta abordagem é o da simplificação. Para este trabalho serão primeiramente consideradas somente as camadas 1 e 2, pois estas camadas juntamente com a camada 0 são as camadas mínimas ou essenciais para controlar a planta. Isto significa Hardware e Software de CLP, além de IHM e Sistemas supervisórios (ver fig. 22).

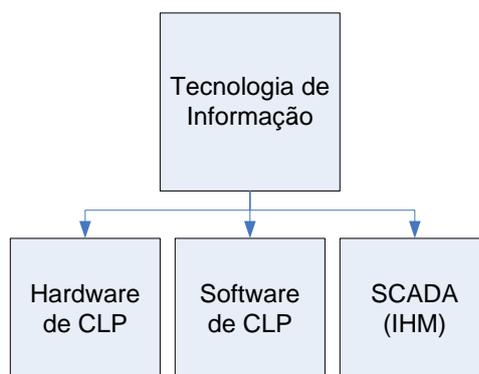


Figura 22 Simplificação da Disciplina Tec. de Informação para este trabalho.

3.1.2.1 Reuso na disciplina Tecnologia de Informação: uma abordagem prática

Tendo como base a simplificação da seção anterior, segue agora uma análise prática quanto ao reuso nestes aspectos considerados.

Iniciando pelo hardware de CLP, que tem a função, entre outros, de interface com os sinais de campo, assim como serve de plataforma para a execução do Software de controle. O aspecto prático importante, quando se analisa o hardware de CLP é que o mesmo se modifica muito rapidamente ao longo do tempo. Isto significa que novas versões aparecem com muita frequência no mercado. Além disso, quando se trata de engenharia de plantas industriais não é escopo a fabricação do hardware de CLP, mas somente a sua configuração, que geralmente não demanda muito tempo. Aqui cabe a diferenciação com relação a engenharia de produtos, onde o hardware geralmente deve ser conjuntamente modelado, projetado e fabricado.

Por estar constantemente sendo atualizado, em virtude da evolução tecnológica, e por não demandar muito tempo, em consideração ao tempo total de projeto (pelo menos quando se trata de plantas industriais) o hardware de CLP será desconsiderado neste trabalho para efeitos de reuso.

IHM e Supervisório correspondem a uma área com grandes possibilidades de reutilização, porque a programação destes sistemas demanda tempo e já se utiliza do paradigma de orientação a objetos. O problema aqui é que as ferramentas PLM existentes ainda não integram esta área em seu portfólio. Em decorrência disso, IHM e Supervisório também serão desconsiderados para efeitos de reuso na disciplina tecnologia de informação neste trabalho.

De qualquer forma, estratégias e abordagens práticas de reutilização que considerem tanto hardware de CLP, como IHM e supervisório, assim como as outras camadas da pirâmide hierárquica funcional de uma empresa, podem ser estudadas em trabalhos futuros.

Desta forma para este trabalho de mestrado será considerado somente Software de CLP como possível área da disciplina Tecnologia de Informação, onde artefatos técnicos podem ser criados, armazenados em ferramentas PLM, e conectados com artefatos técnicos de outras disciplinas, para fins de reutilização em futuras aplicações (Engenharia de Aplicação).

3.1.2.2 Software de CLP (Projeto vs. Realização)

Para uma análise mais profunda a respeito de reutilização em Software de CLP, é importante primeiro entender melhor a suposta fronteira entre Projeto e Realização/Implementação do Domínio para engenharia de plantas industriais (ver fig. 23). Para tal foi importante a análise destes no contexto de engenharia de Software. O trabalho de [Lepp09] foi aqui estudado.

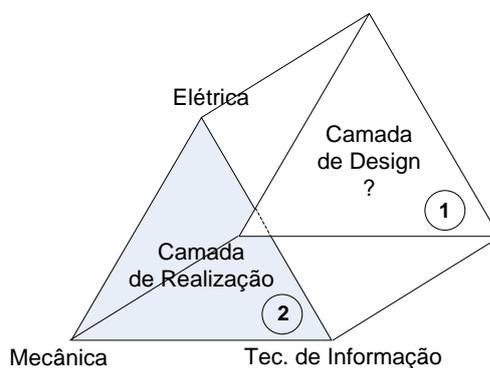


Figura 23 O que é Projeto em Engenharia de Plantas Industriais?

O Projeto do Domínio como na engenharia de Software, que é executado por exemplo através de diagramas de comportamento (Diagrama de atividades) ou diagramas de estrutura (Diagrama de classes) antes da programação ou Realização/Implementação do Domínio (código) não está presente nas disciplinas elétrica e mecânica em engenharia de plantas industriais. Já com relação a execução da Realização/Implementação do Domínio nestas disciplinas (elétrica e mecânica) serão considerados os diagramas elétricos (como unifilares, trifilares) e os diagramas mecânicos (como desenhos em CAD) respectivamente.

Algumas fontes literárias lidam com a modelagem de objetos mecatrônicos, em outras palavras objetos que integrem várias disciplinas, com o uso de UML, como [Schm04] ou através do paradigma da orientação a objetos como [Kasp05]. Infelizmente estes trabalhos são apenas iniciativas de pesquisa, que ainda estão distantes de uma aplicação prática em plantas industriais.

Já a disciplina tecnologia de informação, ou Software de CLP (resultante da simplificação apresentada nas seções anteriores) seria uma possível área, onde o Projeto do Domínio poderia ser executado e como resultado teríamos o apoio sistemático na criação de artefatos técnicos reutilizáveis, como acontece na Engenharia de Domínio na engenharia de Software.

A figura 24 sintetiza a análise realizada nesta seção e apresenta o "Modelo de Software de CLP" na "Camada de Projeto do Domínio", como possível fator de apoio à criação de artefatos técnicos reutilizáveis, como acontece na Engenharia de Domínio na engenharia de Software. Conforme explicado anteriormente, para as disciplinas elétrica e mecânica não existe uma modelagem como na engenharia de Software, o que foi representado através de "X" na Camada de Projeto na figura 24.

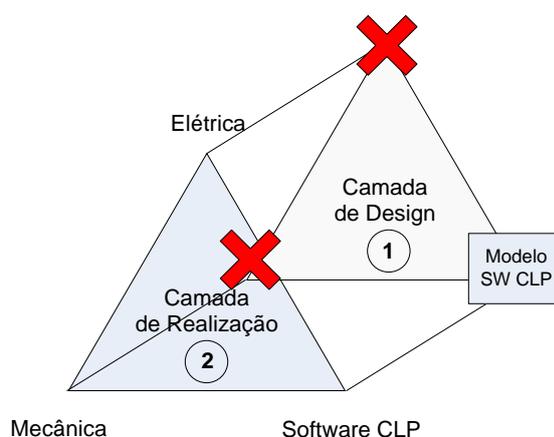


Figura 24 Modelo de SW de CLP na camada de Projeto do Domínio

3.1.2.3 Software de PLC - Projeto de artefatos técnicos reutilizáveis

Focando agora no detalhamento de reuso em Software de CLP, as seguintes perguntas devem ser respondidas: (a) O que significa então Projeto do Domínio ou Modelagem de Software de CLP?, (b) Podemos modelar Software de CLP através de métodos clássicos utilizados na Engenharia de Domínio da engenharia de Software, como diagramas UML?, e por último (c) como deve-se criar artefatos técnicos de Software de CLP reutilizáveis?

De acordo com [Fons08], [IEC6113] e [wwwPLCo] existem 4 unidades de reutilização em Software de CLP: (1) Dados e variáveis, (2) FC (Funções), (3) OB (Blocos organizacionais) e (4) FB (Blocos Funcionais).

(1) Dados e variáveis assim como (2) FC (Funções) se encontram na abstração de programação. Para efeitos de reutilização, faz sentido salvar estes artefatos diretamente nas plataformas de automação e dadas as circunstâncias reutilizá-los.

(3) OB (Blocos organizacionais) controlam a execução do programa e são ligadas a atividades completas de um projeto. [IEC6113] possibilita a instanciação de um OB, mas essa atividade não é geralmente implementada, porque os projetos de plantas industriais se diferem demasiadamente uns dos outros. Novos OBs para novas atividades são geralmente programados.

Isto nos traz então ao (4) FB. FBs possuem códigos de aplicação e podem em cada Instância – DB (Bloco de dados) se ligar a diferentes dados.

FB contém dados de Input ou Output, assim como Algoritmos e dados internos.

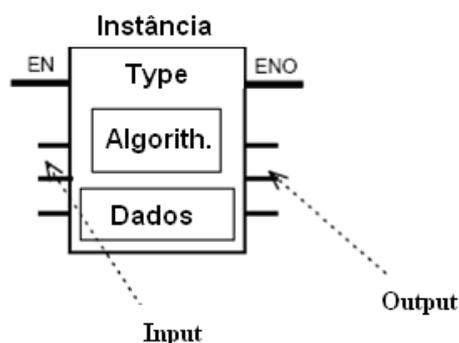


Figura 25 FB de acordo com [IEC6113]: "Unidade comportamental reutilizável"

Neste trabalho de mestrado o Bloco Funcional FB será considerado finalmente como "unidade comportamental reutilizável" com relação à disciplina Tecnologia de Informação (ver fig. 25).

3.2 Síntese da Concepção

Resultado da concepção deste trabalho é um conceito para o formato ou estrutura dos artefatos técnicos, que devem ser armazenados no Repositório do Domínio: "artefatos técnicos multidisciplinares reutilizáveis".

Este conceito não é somente a base para as adaptações da metodologia de Engenharia de Domínio para possibilitar a execução da mesma em conjunto com ferramentas PLM, como também é o novo objetivo da metodologia. Isto significa que após a execução dos passos da Análise, Projeto e Implementação/Realização do Domínio devem ser criados diversos "artefatos técnicos multidisciplinares reutilizáveis" (ver fig. 26). Lembrando que a modelagem (ou Projeto) e a Realização/Implementação de cada disciplina em ferramentas PLM será feita com base no paradigma de orientação a objetos da engenharia de Software, que está presente nestas ferramentas.

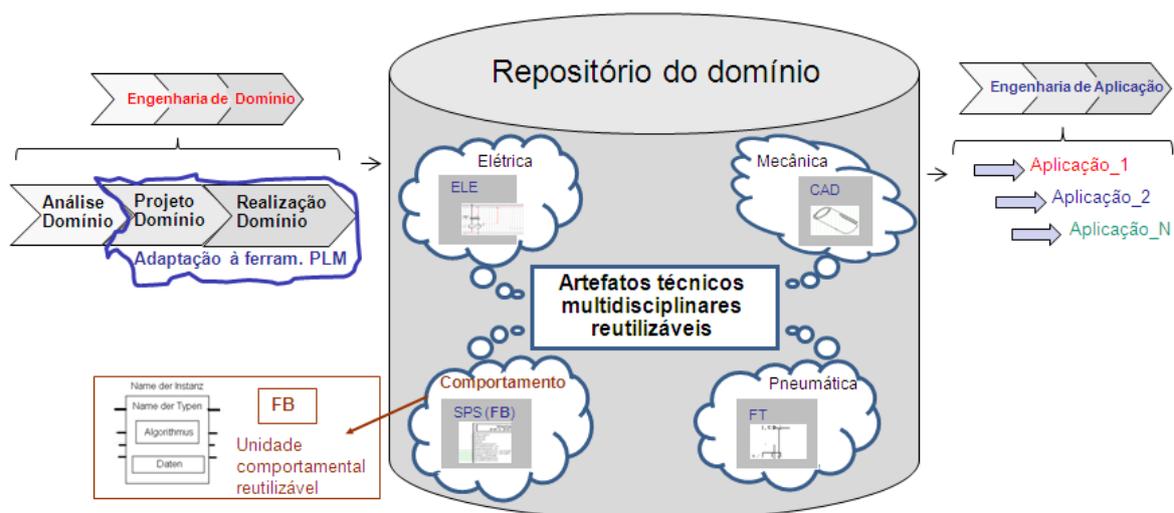


Figura 26 Formato dos artefatos técnicos: base para a adaptação da metodologia DE.

E com relação à disciplina tecnologia de informação (ou "Comportamento" como mostrado na figura 26), baseado na análise detalhada conduzida na seção 3.1.2, será considerado o Bloco Funcional (FB) como unidade básica reutilizável.

4 A METODOLOGIA "DE ADAPTADA"

Após a definição de um domínio concreto de aplicação (para este trabalho foi definida uma planta industrial - MPS), o que é necessário para que a metodologia de Engenharia de Domínio executada em conjunto com uma ferramenta PLM, que se baseia no paradigma de orientação a objetos, possa efetivamente criar artefatos técnicos reutilizáveis?

Primordialmente para endereçar esta questão foram analisadas diversas fontes literárias durante a concepção deste trabalho. Síntese desta análise foi a elaboração de um conceito orientado à prática de um artefato técnico multidisciplinar reutilizável, em que o Bloco Funcional (FB) é a unidade reutilizável com respeito à disciplina "tecnologia de informação".

Com base neste conceito foram então modificados os passos da metodologia "DE existente". Desta forma a metodologia se tornará concreta e orientada à aplicação prática, que significa que a mesma pode ser executada em um domínio real, neste caso para plantas industriais. Além disso, a nova metodologia, ou metodologia "DE adaptada", contribui com a questão da integração dos dados entre os artefatos técnicos reutilizáveis das diferentes disciplinas. Como já mencionado anteriormente, segundo [Nale09] não existe hoje um conceito ou abordagem prática para esta questão.

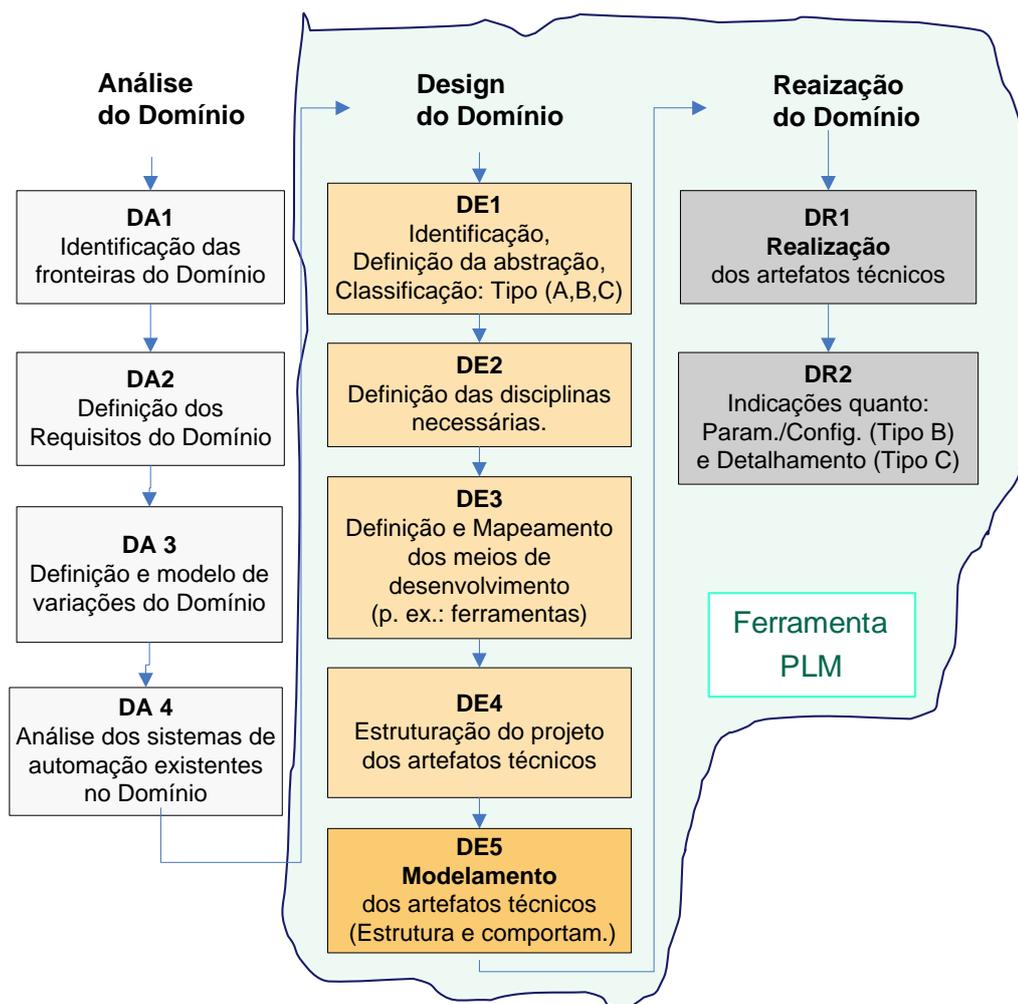


Figura 27 Metodologia "DE adaptada" a ferramentas PLM baseadas no paradigma OO.

A figura 27 apresenta os passos da metodologia "DE adaptada", onde principalmente os passos do Projeto e da Realização/Implementação do Domínio foram alterados com relação à metodologia existente, que foi apresentada na figura 4. Os passos da Análise do Domínio sofreram pequenas alterações.

Um detalhamento das alterações em relação à metodologia "DE existente" será apresentado no capítulo 6.

5 EXECUÇÃO DOS PASSOS DA METODOLOGIA "DE ADAPTADA" PARA O DOMÍNIO MPS

Neste capítulo serão descritos os resultados da execução dos passos da metodologia "DE adaptada" para o domínio MPS juntamente com a ferramenta PLM Comos. Na seção 5.1 será descrita a Análise do Domínio, já na seção 5.2 será descrito o Projeto do Domínio, e na seção 5.3 será descrita a Realização/Implementação do Domínio.

Para finalizar será avaliado na seção 5.4 se o projeto final (artefatos técnicos reutilizáveis do Domínio) criados e armazenados na ferramenta PLM Comos atendem e/ou correspondem à modelagem de variações do Domínio (passo DA3 – ver figura 27).

5.1 Análise do Domínio (DA)

Os passos da Análise do Domínio da metodologia "DE adaptada" são quase iguais aos passos da metodologia existente de acordo com [Maga09(c)]. De qualquer maneira as poucas modificações serão detalhadas na seção 6.1.

Já nas seções subsequentes será descrita a execução dos seguintes passos da Análise do Domínio da metodologia "DE adaptada" para o domínio MPS, que podem também ser visualizados na figura 27:

- DA1. Identificação dos limites do Domínio
- DA2. Determinação dos requisitos do Domínio
- DA3. Modelagem das possibilidades de variação do Domínio
- DA4. Análise dos existentes sistemas de automação do Domínio

5.1.1 DA1

Nesta seção serão descritas as atividades relativas à Identificação dos limites do Domínio.

5.1.1.1 Definição do Domínio e estruturação das funcionalidades

Primeiramente serão descritas as definições com respeito ao Domínio MPS. Logo após serão estruturadas as principais funcionalidades.

Def. Planta Industrial: Sistema de automação, no qual um processo técnico é formado por sistemas parciais únicos, que controlam equipamentos espalhados geograficamente [LaGö99].

Def. Planta MPS (Planta de produção modular): É um modelo de uma planta industrial da empresa Festo Didaktik, que foi desenvolvida para fins didáticos e de pesquisa.

Funções da planta MPS: Como peças de trabalho são usadas peças cilíndricas, que se diferenciam pela cor (vermelha, preta e cinza), material (alumínio e plástico) e altura. A planta MPS contém 4 estações: (1) Separação, (2) Testes, (3) Processamento e (4) Armazenamento, que já foram descritas anteriormente (ver seção 2.3).

Informações mais detalhadas quanto às funcionalidades da planta MPS podem ser encontradas em [Roth10], [Eber09] e [Fritz09].

5.1.1.2 Normas

Neste ponto devem ser consideradas não somente Normas com respeito ao produto ou à planta final como em [Maga(b)], mas também com respeito ao desenvolvimento do projeto em questão. Para o desenvolvimento de projetos para plantas industriais, seguem os seguintes exemplos:

VDI3695: Informações gerais sobre procedimentos referentes à engenharia de uma planta industrial.

DIN 61346-1 que retrata modelos para plantas industriais. Nesta norma, se dividiu o modelo de plantas da seguinte forma: (a) Modelo orientado à função (divisão das funções gerais, e controle do processo), (b) Orientado a produto (caráter construtivo), (c) orientado à localização.

Além destes, foram analisadas neste trabalho normas com respeito à engenharia de plantas industriais para as disciplinas em separado.

Na mecânica as seguintes normas podem ser observadas: configurações de desenhos (DIN ISO 5457), documentação técnica (DIN ISO 7200), escalas (DIN ISO 5455), pinturas (DIN 406), alinhamentos (DIN ISO 128-20).

Na elétrica podem ser apontados os diagramas unifilares e trifilares. Tais diagramas, de acordo com (DIN 61082) representam o caminho da energia elétrica através dos diversos dispositivos elétricos. A representação destes dispositivos, assim como sua simbologia seguem a norma (DIN 60617). Existe uma divisão entre o fluxo principal de energia e o fluxo de energia para comando.

Na disciplina tecnologia de informação foram analisadas diversas normas. Muitas delas já foram apresentadas no capítulo 3.1.2 deste trabalho.

Com relação a simulações de plantas industriais pode ser observada a norma VDI 4499 – *Digital Factory*.

5.1.2 DA2

Nesta seção serão apresentados exemplos da modelagem dos requisitos do Domínio para a planta MPS. Primeiramente um exemplo dos requisitos não funcionais (NFA), e depois um exemplo dos requisitos funcionais (FAN).

5.1.2.1 Requisitos não funcionais (NFA)

Na figura 28 estão descritos os requisitos não funcionais do domínio. A língua utilizada nesta execução foi o alemão. De qualquer maneira, uma tradução para o português está presente para todos os itens.

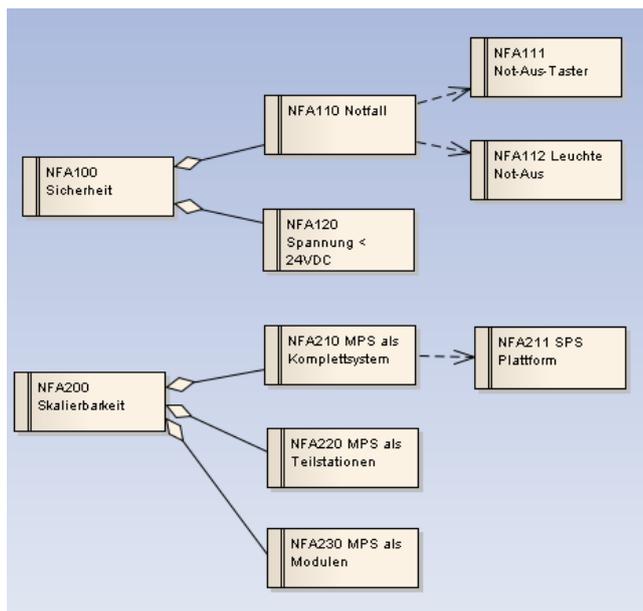


Figura 28 Exemplo de Requisitos não funcionais do Domínio MPS.

NFA100 *Sicherheit* (Segurança):

NFA110 *Notfall* (Emergências): Em qualquer situação de perigo para o equipamento ou para pessoas deve haver a possibilidade de parar a planta MPS.

NFA111 *Not-Aus-Taster* (Botão de parada): Este botão serve para parar os processos em andamento da MPS-Anlage.

NFA112 *Leuchte Not-Aus* (Iluminação de alerta): Deve haver um sistema de iluminação sinalizando que a planta foi parada e está em estado de alerta.

NFA120 *Spannung <24VDC* (Alimentação elétrica <24VDC): Não é permitida alimentação elétrica maior do que 24VDC na planta.

NFA200 *Skalierbarkeit* (Escala):

NFA210 *MPS als Komplettsystem* (como sistema completo): pode ser fornecida como sistema completo.

NFA211 *SPS Plattform* (plataforma de CLP): pode ou não ser fornecida com CLP.

NFA220 *MPS als Teilstationen* (como estações separadas): as estações individuais da MPS podem ser produzidas em separado.

NFA230 MPS *als Module* (como módulos): os módulos podem também ser fabricados em separado.

5.1.2.2 Requisitos funcionais (FAN)

Todos os requisitos funcionais da planta MPS foram ordenados de FAN100 a FAN400, como descrito abaixo

FAN100: Interface com o usuário e/ou operador

FAN200: Modos de operação (automático, manual, processamento por passos)

FAN300: Requisitos das estações em separado

Como por exemplo, segue na figura 29 o detalhamento dos Requisitos da estação de separação (ale. *Station Verteilen*) FAN310:

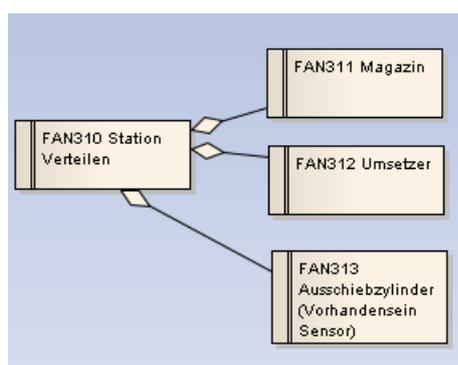


Figura 29 Exemplo de requisitos funcionais do Domínio MPS.

FAN310 *Station Verteilen* (Estação de separação)

FAN311 *Magazin* (Dispositivo de depósito na entrada): Este dispositivo deve ser apto a receber as peças, separá-las e deixá-las prontas para o próximo passo do processo.

FAN312 *Umsetzer* (Dispositivo de movimentação de peças): Este dispositivo deve ser apto a transportar as peças do depósito de entrada até a estação de provas.

FAN313 *Ausschiebzylinder* (Cilindro de disparo): Através de um cilindro as peças devem ser disponibilizadas para o dispositivo de movimentação de peças. Um sensor de presença de peças deve ser também instalado para notificar a presença ou não de peças.

Além destes, seguem abaixo os requisitos ordenados abaixo de FAN400. Estes requisitos foram importantes, pois já introduzem possíveis variações futuras no domínio:

FAN400: Requisitos adicionais (introdução às possíveis variações do domínio):

FAN410: Sistema de acionamento da estação de separação: pneumático ou elétrico

FAN420: Sensor de presença de peças: capacitivo ou à laser.

5.1.3 DA3

Nesta seção será apresentada a definição do modelo de variações do domínio. Para tal será usado um Diagrama de Características.

Def. Característica: De acordo com [KCH+90] uma Característica é uma característica do sistema para o usuário final. De acordo com [Maga09(a)] Características refletem o ponto de vista do consumidor, não a questão técnica.

Em conformidade com os requisitos do Domínio (passo DA2 – ver seção 5.1.2), apresenta-se na figura 30 o modelo de variações geral do Domínio MPS, através de um Diagrama de Características.

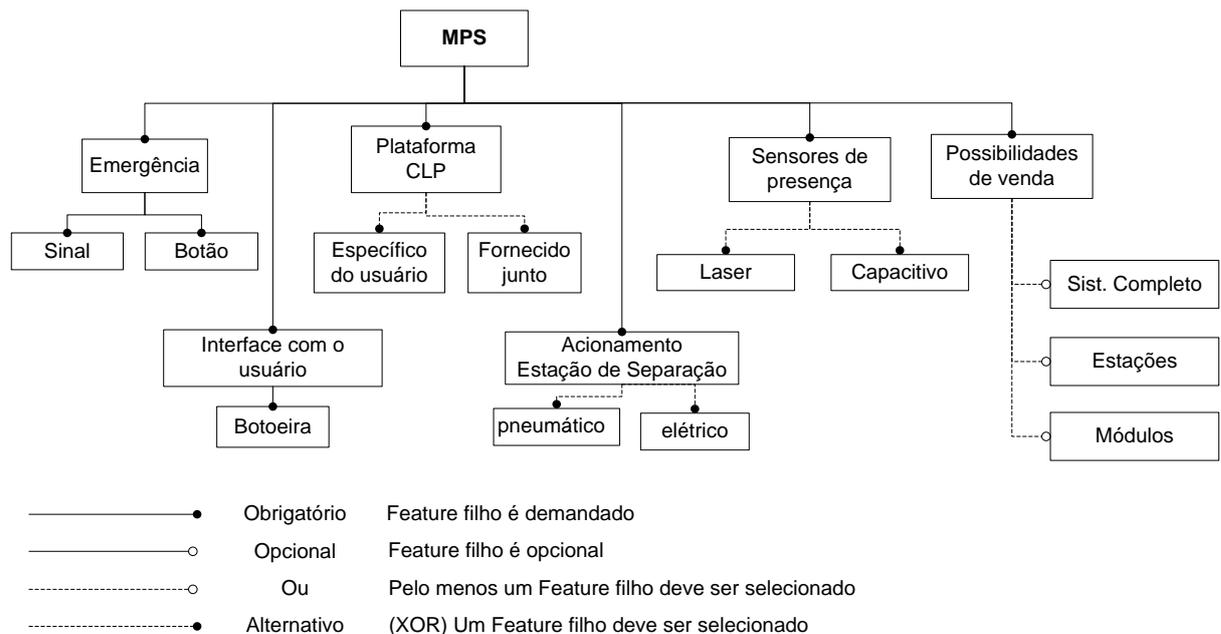


Figura 30 Diagrama de Características do Domínio MPS.

5.1.4 DA4

Nas seções 5.1.4.1 até 5.1.4.3 será descrita a execução dos passos do "DA4 Análise dos sistemas de automação existentes no Domínio", que irá considerar prioritariamente a planta MPS hoje existente e operante no IAS.

Na seção 5.1.4.1 será apresentado um Diagrama de Características para a Estação de Separação, considerando evidentemente as variações apresentadas no passo "DA3" (ver seção 5.1.3). Para as demais estações do domínio foram também elaborados Diagramas de Características de forma análoga.

Na seção 5.1.4.2 será abordada a documentação existente com relação a disciplina tecnologia de informação. Já na seção 5.1.4.3 será apresentado um resumo da análise da documentação existente referente às disciplinas: mecânica, elétrica e pneumática.

5.1.4.1 Estação de separação

No diagrama da figura 31 estão apresentadas as Características da Estação de Separação, assim como suas possíveis variações.

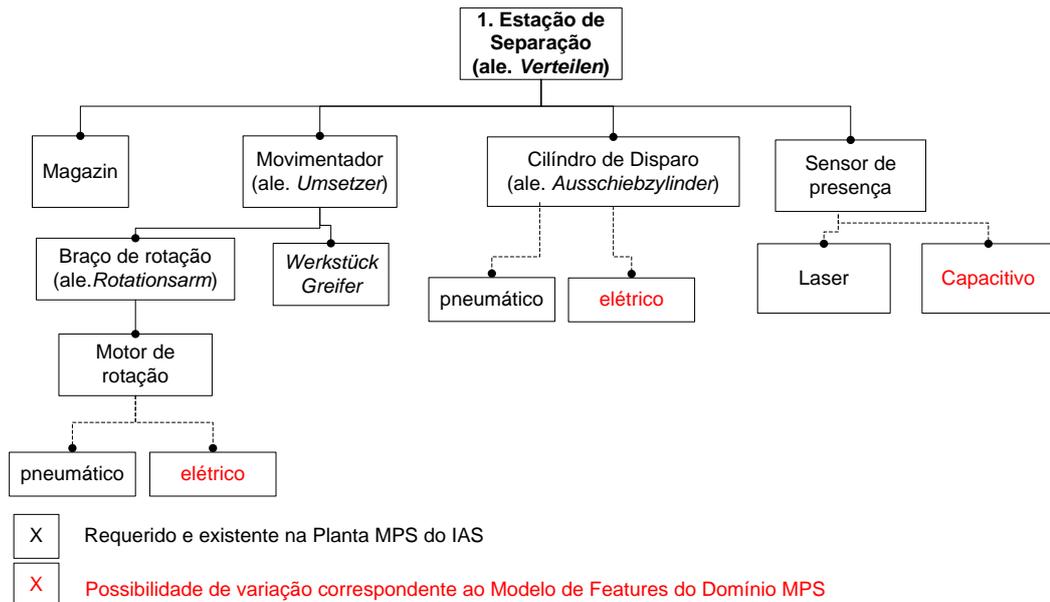


Figura 31 Diagrama de Características (Estação de Separação vs. Modelo de Variações do Domínio).

5.1.4.2 Disciplina tecnologia de informação do domínio MPS

O Software de CLP existente roda no Hardware de CLP Soft-CLP TwinCAT da empresa Beckhoff.

O Software foi organizado em OB (Blocos organizacionais) e FB (Blocos Funcionais), de acordo com [Eber09].

Como definido durante a concepção deste trabalho, o FB é a unidade funcional básica de reutilização com respeito à disciplina tecnologia de informação.

Como exemplo, abaixo está modelado o Módulo FB Medição de altura da Estação de Testes.

A estrutura do código de todos os FBs foi modelada em tabelas de interfaces, como no exemplo abaixo:

Tabela 2: Estrutura do código do Módulo FB de Medição de altura [Eber09]

Tipo	Bloco de Funções (FB)		
	Nome	Tipo do dado	Descrição
Parâmetros de entrada	bExecute	BOOL	Inicia a medida da altura da peça
	bWSinHebe	BOOL	Presença de peça
	bHoehe	INT	Altura da peça
Parâmetros de saída	bDone	BOOL	Medição realizada
	bActive	BOOL	Medição ativa
	bError	BOOL	Erro
	ErrorCode	ERROR_CODE	Informação referente ao erro.
	iWSHoehe	INT	Nova Altura da peça

Já o comportamento dos FBs foi modelado através de Diagrama de atividades [Eber09], como no exemplo da figura 32:

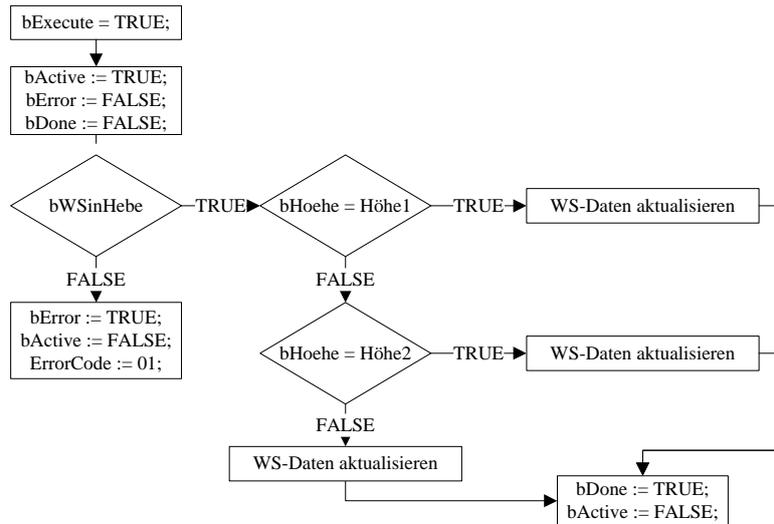


Figura 32 Diagrama de atividades: FB Medição de altura.

5.1.4.3 Planta MPS do IAS (mecânica, elétrica e pneumática)

Um modelo 3D (mecânica) da planta MPS foi elaborado em [Roth10].

Um exemplo do projeto pneumático da planta MPS está representado na figura 33.

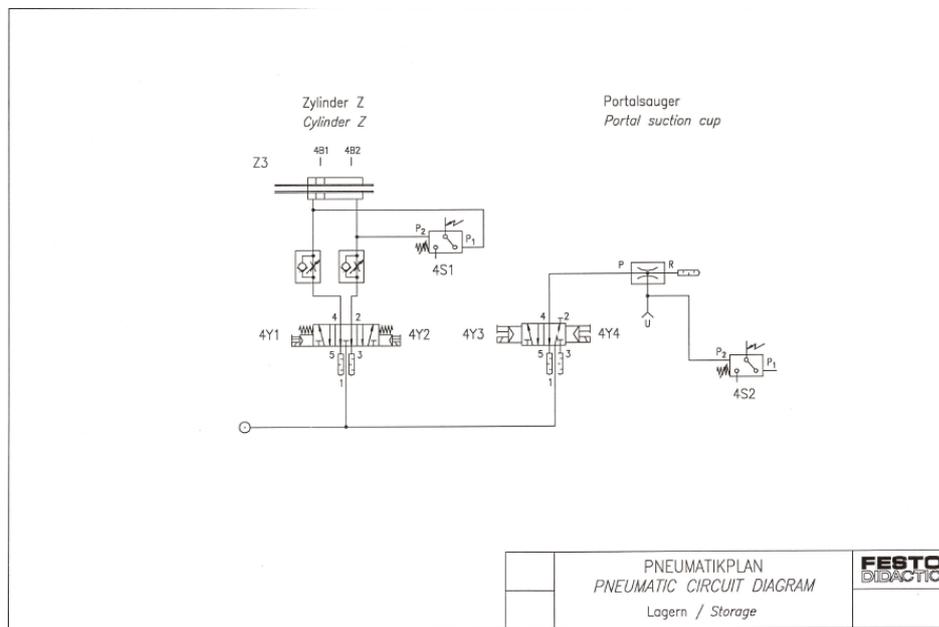


Figura 33 Plano pneumático existente da planta MPS do IAS.

Um exemplo do Diagrama Unifilar da planta MPS está representado na figura 34.

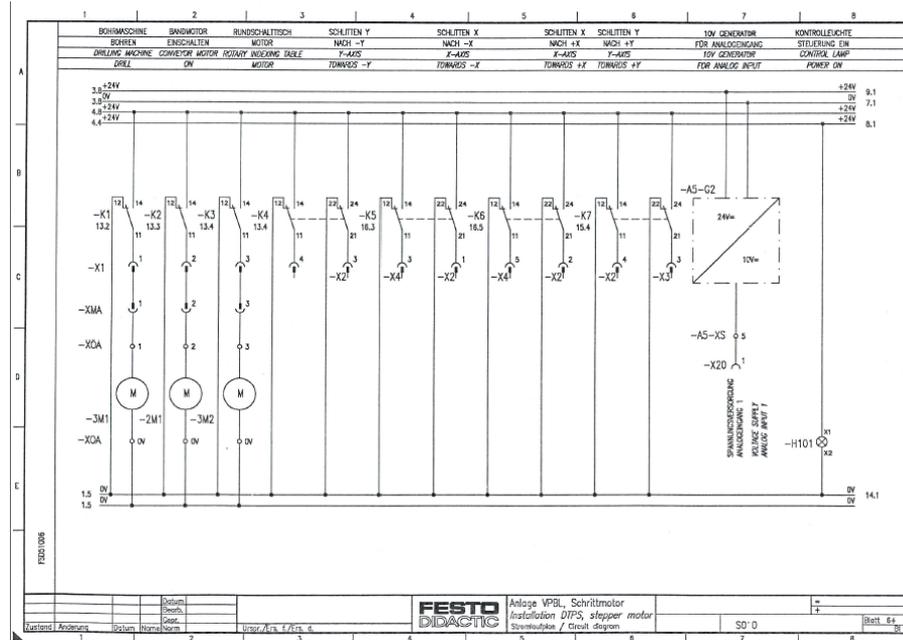


Figura 34 Uma pág. do Diagrama Unifilar (motores da planta MPS).

5.2 Projeto do Domínio (DE)

Nas próximas seções será apresentada a execução dos seguintes passos do Projeto do Domínio da Metodologia "DE adaptada" para o Domínio MPS, também presentes na figura 27.

- DE1. Identificação, Definição da abstração, Classificação quanto ao Tipo (A,B,C)
- DE2. Definição das disciplinas necessárias
- DE3. Definição e mapeamento das ferramentas de desenvolvimento
- DE4. Estruturação do desenvolvimento dos artefatos técnicos
- DE5. Modelagem dos artefatos técnicos

Os passos DE1 até DE4 não englobam o efetivo desenvolvimento do Projeto, eles são somente meios de suporte para a Modelagem (DE5) e Realização (DR1) dos artefatos técnicos. Os resultados da execução destes passos foram documentados em uma tabela (ver

Anexo I), porque importante para este trabalho é ilustrar o conceito por trás de cada passo. Outras formas de representação (como por exemplo através de ferramentas específicas) podem ser analisados e testadas em trabalhos posteriores.

5.2.1 DE1

Nas próximas seções será detalhada a execução do passo DE1: Identificação dos artefatos técnicos reutilizáveis, Definição da abstração de cada artefato técnico e Classificação de cada artefato técnico quanto ao grau de variação (A,B,C). Na Tabela 1 foram classificados os artefatos Tipo A,B,C.

5.2.1.1 Identificação dos artefatos técnicos reutilizáveis

Para este passo é importante ter primeiro em mente a definição da concepção deste trabalho: artefato técnico multidisciplinar reutilizável, assim como da unidade comportamental reutilizável: FB. Para este passo foram usados 3 critérios para identificação dos artefatos reutilizáveis do Domínio:

1. **Abstração de venda** (final, ou que precisam ser criados): A identificação dos artefatos técnicos que representam a abstração final ou "de venda" é obrigatoriamente necessária, pois estes representam o que foi comprado pelo cliente final. Para o Domínio MPS, e tendo em mente os resultado do passo "DA2 Requisitos do Domínio", assim como do passo "DA3 Modelo de Variações do Domínio", foram identificadas as seguintes abstrações dos artefatos técnicos do domínio: Módulos, Estações e sistema completo MPS.
2. **Repetição** dentro do domínio: Os artefatos técnicos que podem ser reutilizados com pequenas alterações ou até sem alterações

dentro do domínio devem ser aqui identificados. Para o Domínio MPS foi identificado p. ex. o artefato técnico "Magazine" (Tipo B) que pode ser utilizado na estação de "Separação" e de "Armazenamento" com a alteração da característica altura. Já o módulo "Agarrador de Peças" (Tipo A) pode ser reutilizado sem modificações na estação de "Separação" e de "Armazenamento".

Caso algum módulo já esteja presente no Repositório do Domínio (DR), é permitido e até desejável que módulos (ainda dentro do critério Repetição), que naturalmente já estejam no DR, sejam também aqui identificados. O objetivo é claro: maximizar o ganho com reutilização. Porque criar novos módulos se os existentes podem ser reaproveitados.

3. **Variações** com respeito aos passos "DA2 Requisitos" e "DA3 modelo de variações do Domínio": Os pontos, ou diretamente os artefatos técnicos do domínio, que puderem variar (essencialmente Tipo C) devem ser tratados diferenciadamente e por causa disso, devem ser aqui também identificados. O objetivo aqui é a criação de artefatos técnicos reutilizáveis, que possam ser da forma mais fácil possível, adaptados para as diferentes aplicações dentro do domínio pré-definido.

Os artefatos técnicos reutilizáveis identificados através dos critérios 2 e 3 podem ou não também já ter sido identificados pelo critério 1.

Especialmente os artefatos técnicos identificados pelo critério 3 devem também ter suas possibilidades de variação representadas no Projeto do Domínio. Para tal foram usadas "Options".

5.2.1.2 Definição da abstração dos artefatos técnicos reutilizáveis

Esta definição deve ser realizada em conjunto com a "Identificação" (ver seção: 5.2.1.1). O objetivo é a estruturação, assim como organização do Repositório do Domínio. Esta estrutura pode ser também considerada como estrutura em árvore.

Juntamente com as abstrações já anteriormente mencionadas: **Sistema Completo**, **Estações**, **Módulos** (critério 1) e "**Option**" (critério 3), foram usadas também as abstrações: **Sub-Módulo Nível 1** (L1) e **Sub-Módulo Nível 2** (L2).

5.2.1.3 Classificação quanto ao Tipo (A,B,C)

Considerando o grau de variação, os artefatos técnicos reutilizáveis foram classificados em três tipos (A,B,C) (ver tabela 1) de acordo com [Maga09(b)].

O módulo cilindro de disparo (ale. *Ausschiebzylinder*) foi classificado como Tipo **A estático**. Os módulos Magazine e Escorregador foram classificados como Tipo **B parametrizáveis e configuráveis**. Módulos com alto grau de variação como o Braço de Rotação, foram classificados como Tipo **C genéricos**.

A Tabela 3 apresenta o resultado da execução do passo "DE1" para o artefato técnico "Cilindro de Disparo", que foi identificado através dos critérios (1) **Venda**, e (2) **Repetição**, possui abstração **Módulo** e é do Tipo **A estático**.

Tabela 3: DE1. Artefato técnico Tipo A: Cilindro de disparo (ale. *Ausschiebzylinder*)

DE1			
Critérios	Abstração	Artefatos técnicos reutilizáveis	Tipo
Venda, Repetição	Modul3	Ausschiebzylinder	a

5.2.2 DE2

A definição das disciplinas necessárias para o futuro desenvolvimento (passo DE2) deve ser realizada para cada artefato técnico.

Para o módulo Cilindro de disparo (ale. *Ausschiebzylinder*) por exemplo foram identificadas as seguintes disciplinas: Software de CLP (S), mecânica (M), elétrica (E) e pneumática (P).

Tabela 4: DE2. As disciplinas necessárias para o projeto do artefato *Ausschiebzylinder*

DE1				DE2
Critérios	Abstração	Artefatos técnicos reutilizáveis	Tipo	Disciplinas
Venda, Repetição	Modul3	Ausschiebzylinder	a	S M E P

5.2.3 DE3

Na concepção deste trabalho foi estudada a fronteira entre Projeto (Modelo) e Realização do Domínio para engenharia de plantas industriais comparando com engenharia de Software (ver seção 3.1.2.2).

Esta fronteira Modelo/Projeto vs. Realização do Domínio foi mantida na execução deste passo "DE3 Definição e mapeamento das ferramentas de desenvolvimento" (ver coluna "Modelo" e coluna "Realização" na Tabela 5).

Para a planta MPS foi pré-definida a utilização da ferramenta PLM Comos. Mas para a completa modelagem e realização deste domínio outras ferramentas são também necessárias, como SolidWorks para a disciplina mecânica.

Tabela 5: Módulos do Comos e outras ferramentas para cada disciplina

O que	Modelo				Realização	
	Como	Onde	Como	Onde	Comos	Onde
Sw CLP	Diag. Est. / "Bdd"	SysML	<i>Funktionsplan</i>	Comos Logical	seguidores IEC 61131	Plataforma específica do usuário
			<i>Funktionsplan</i>	Comos Logical	Step 7	Plataforma de CLP Siemens
Mecânica					Diagramas em CAD	Solid Works
Pneumática					Planos pneumáticos	Comos FT
Elétrica					Unifilares	Comos ET

5.2.4 DE4

O passo "DE4 Estruturação do desenvolvimento dos artefatos técnicos" deve ser realizado por especialistas.

O objetivo desta etapa é a estruturação das informações do projeto considerando cada disciplina. Foram definidos e ordenados os diagramas, objetos, desenhos, documentos técnicos, entre outros, necessários para o projeto (Modelo/Projeto e Realização) de cada artefato técnico.

Para este passo foi importante a identificação das normas realizada no passo "DA2", em especial as normas referentes à engenharia de plantas industriais.

[Fons08] e ISA 88/95 estruturam a modelagem do Software de CLP em classes e módulos de controle. Para o Domínio MPS foram identificados os Blocos Funcionais FBs, como o FB Zyl2, que pode ser instanciado tanto para o artefato técnico "Movimentador de Peças" quanto para o "Cilindro Elevador".

Primeiramente foram listados os diagramas necessários à futura Realização/Implementação dos artefatos técnicos. P. ex. a "Estação de Separação" necessita de um projeto pneumático, assim como diagramas unifilares (sinal e potência). Já para o módulo "Cilindro de Disparo" (ale. *Ausschiebzyylinder*) é necessária também uma Folha de Dados.

Na figura seguinte está apresentado o resultado da execução do passo "DE4" referente ao Software de CLP para o módulo "Cilindro de Disparo". FB Zyl1 é uma unidade comportamental reutilizável e será instanciada por exemplo no Funktionsplan PFFA.112 no Comos.

Tabela 6: DE4. Software de CLP para o *Ausschiebzyylinder*

Software de CLP	
Comos Logical	
Classe de controle	Módulo de controle
FB_Zyl1	PFFA.112 Ausschieb.

O ordenamento, respectivo a cada disciplina, dos demais diagramas, desenhos, objetos, documentos técnicos, de cada artefato técnico do Domínio MPS, pode ser encontrado no Anexo I.

5.2.5 DE5

Decorrente da análise das fronteiras entre Projeto e Realização do Domínio na engenharia de Software (ver capítulo 3.1.2.2), o passo DE5 (Modelo) foi ordenado junto ao "Projeto do Domínio" e não junto a "Realização do Domínio" na concepção da metodologia "DE adaptada".

Na ferramenta Comos os FBs foram modelados em *Funktionsplan* (Planos de Funções). Comos suporta apenas a representação gráfica dos FBs do Software de CLP conectados com sinais de campo. O efetivo Projeto e código (Realização) devem ser rodados em outras ferramentas e dadas as situações importados ou exportados.

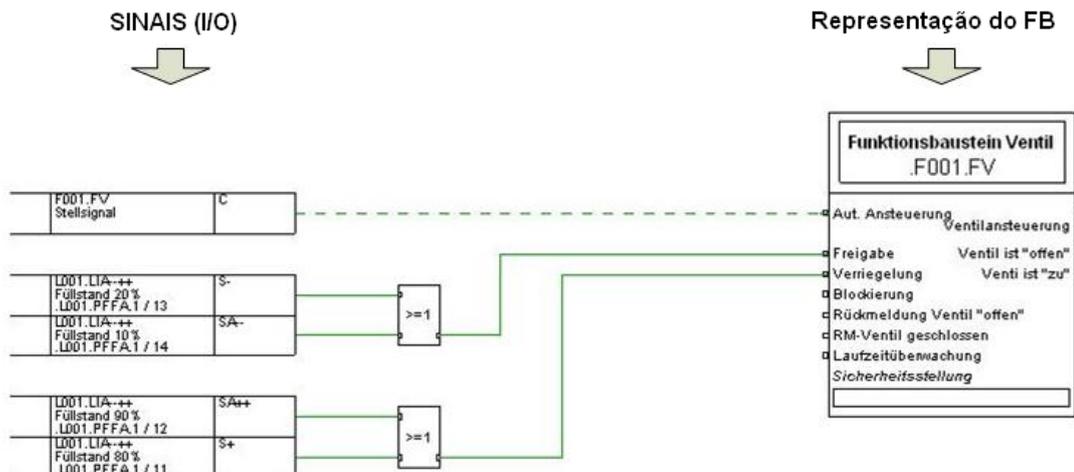


Figura 35 Modelagem de FB's no Comos Logical (*Funktionsplan*).

A modelagem (DE5) na ferramenta PLM Comos será apresentada juntamente com a Realização dos artefatos técnicos (DR1) no próximo seção.

5.3 Realização do Domínio (DR)

A Realização do Domínio "DR" da metodologia "DE adaptada" engloba os seguintes pontos (vide figura 27):

- DR1 Realização dos artefatos técnicos

- DR2 Indicações sobre a Parametrização/Configuração (Tipo B) e Detalhamento (Tipo C).

O passo "DE5" e "DR1" serão apresentados na seção 5.3.3. Na seção 5.3.4 será apresentada a execução da atividade "DR2".

Mas primeiramente serão apresentados em 5.3.1 as configurações do Comos e em 5.3.2 a Arquitetura de referência do domínio MPS já no Comos.

5.3.1 Comos: Configurações

Para a criação dos artefatos técnicos reutilizáveis no Comos, foram utilizados 3 módulos da ferramenta, que estão listados na figura a seguir:

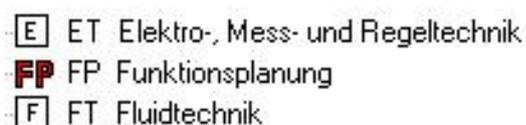


Figura 36 Módulos da ferramenta Comos escolhidos.

Estes três módulos englobam as disciplinas necessárias para a Modelagem e Realização do Domínio MPS.

Comos não suporta o desenvolvimento do projeto mecânico, mas a ferramenta possibilita a importação de diagramas CAD em 2D de outras ferramentas.

5.3.2 Comos: Arquitetura do sistema

Com respeito à definição da estrutura do projeto a metodologia "DE adaptada" sugere uma inversão de paradigma. A arquitetura do sistema deve ser no formato árvore, onde cada artefato técnico deve ter visões referentes às diferentes disciplinas. Isto significa que a estrutura do projeto não segue o tradicional desenvolvimento de projetos, onde os artefatos técnicos são ordenados nas disciplinas em separado.

O passo "DE1" é um dos mais importantes da metodologia "DE adaptada". Como resultado foram estruturados os artefatos técnicos em diferentes granularidades (abstrações), ou níveis, em uma arquitetura de referência em formato árvore.

Os artefatos técnicos reutilizáveis (módulo, sub-módulo, entre outros) da Estação de Separação estão na tabela 7.

Tabela 7: Estação de Separação (ale. *Verteilen*): Resultado do passo DE1

DE1			
Critério	Abstração	Artefatos técnicos reutilizáveis Arquitetura de referência	Tipo
Venda	Station	Verteilstation	
Venda Repetição	Modul1	Magazin	B
Venda	Modul2	Umsetzer	C
Variabilität	Sub-modul L1.2	Schwenkantrieb (Rotationsarm)	C
	Option 1	Elektrisch	
	Option 2	Pneumatisch	
Repetição	Sub-modul L1.1	Werkstückgreifer (Saugnapf)	A
Repetição Variabilität	Sub-modul L1	Vorhandensein Sensor	C
	Option 1	Mikroschalter	
	Option 2	Kapazitive	
Venda Repetição	Modul3	Ausschiebzyylinder	A

As colunas Critério, Abstração e Tipo dos artefatos técnicos reutilizáveis já foram anteriormente explicadas.

Esta mesma arquitetura em árvore foi também implementada no Comos (ver figura 37).



Figura 37 Estação de Separação (ale. Verteilen) no Comos: Arquitetura em árvore.

Normalmente a estrutura e ordenamento dos artefatos técnicos é realizada na disciplina mecânica, que depois é migrada para as ferramentas PLM, sem possibilidade de alteração. O mais importante neste trabalho é que os artefatos técnicos do domínio foram identificados, estruturados e ordenados baseados em critérios orientados à reutilização. Isto significa que nenhuma restrição de Realização/Implementação foi considerada, como a interface da ferramenta PLM com outras ferramentas, como por exemplo CAD, responsável pela mecânica.

A identificação e por conseguinte a estruturação em diferentes graus de abstração (granularidade) dos artefatos técnicos da planta MPS foram baseadas nos critérios (1) Venda, (2) Repetição e (3) Variação (ver seção 5.2.1.1). Importante é que estes critérios podem ou devem ser adaptados ou complementados para outras implementações da metodologia.

5.3.3 DR1

Nesta seção será apresentada não somente a "Realização do Domínio DR1", como também a modelagem (DE5).

No passo "DE2" foram levantadas as disciplinas necessárias para a criação de cada artefato técnico. No passo "DE3" foram definidas as ferramentas (Comos, Solidworks) e de forma geral os diagramas que seriam utilizados para cada disciplina. O resultado do passo

"DE4" foi a estruturação não só dos diagramas, como também dos desenhos, documentos e objetos nas ferramentas para cada artefato técnico previamente identificado e ordenado na estrutura em formato árvore.

Comos suporta a conexão dos artefatos técnicos com outras ferramentas. O modelo mecânico em 3D da MPS foi realizado em [Roth10]. Para possibilitar esta conexão com o Comos, foram criados desenhos em 2D do modelo 3D existente.

Os artefatos técnicos que contêm a visão mecânica foram salvos em "@U Anlage" junto aos "Stammobjekte" (Repositório no Comos).

A Realização da mecânica para a planta MPS será mostrada a partir do Módulo "Umsetzer". Primeiramente o modelo 3D será transformado em 2D (ver figura 38).

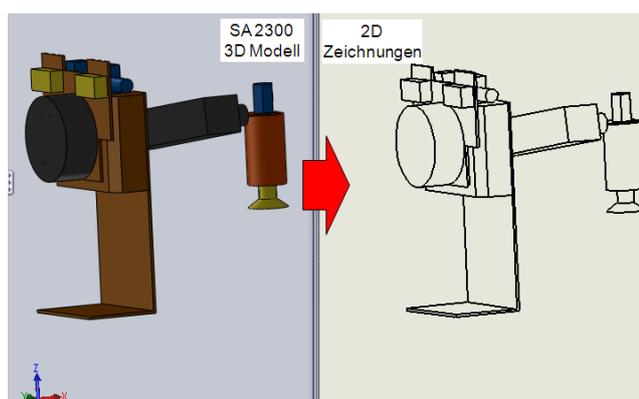


Figura 38 Desenhos mecânicos em 2D do modelo em 3D [Roth10] do Módulo *Umsetzer*.

Logo após, esses desenhos 2D mecânicos serão conectados com os respectivos artefatos técnicos em "@U Anlage" (figura 39).

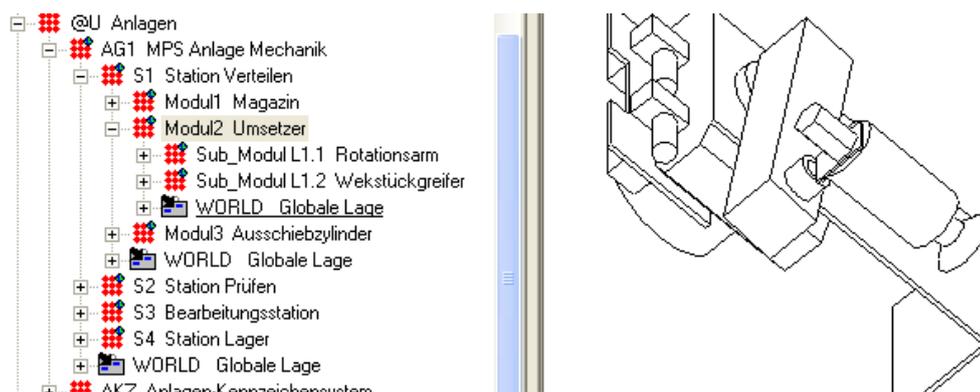


Figura 39 A Realização da mecânica no Comos ("Módul2 Umsetzer").

Nos passos DE 2, 3 e 4 foram identificados os diagramas para Realização da elétrica através de Diagramas Unifilares e Trifilares, da Pneumática através de diagramas pneumáticos e da Modelagem do Software de CLP através de Funktionsplan.

A figura 40 mostra em detalhes a estrutura em árvore da Estação de Separação. Além dos módulos (1) *Magazin*, (2) *Umsetzer* e (3) *Ausschiebzylinder*, se encontram também os arquivos ET1 (Elétrica), FP1 (Funktionsplan) e FT1 (Fluidtechnik), onde os diagramas que foram definidos em "DE4" devem ser ordenados. Estes arquivos podem também ser considerados como as visões respectivas a cada disciplina da "estação de separação" (*Verteilen*). A modelagem (FP) e a Realização (ET e FT) de todas as outras estações do domínio seguem esta mesma estrutura de "visões" para cada disciplina.

No lado direito da figura 40 pode ser encontrado uma parte da Realização de FT1 Fluidtechnik da Estação de Separação (ale. *Verteilen*), ou Pneumatikplan PFSF.001.

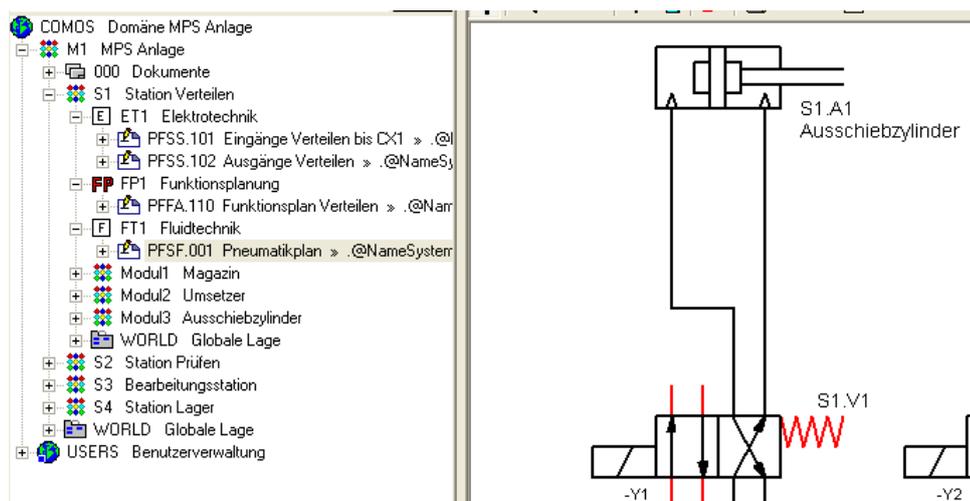


Figura 40 A organização dos diagramas da Estação de Separação / Plano Pneumático PFSF.001.

Importante aqui é que todos os objetos dos diagramas das diferentes disciplinas mantiveram no Comos a mesma estrutura previamente definida no Projeto do Domínio (ale. *Entwurf*).

O objeto "S1.A1 Ausschiebzylinder" do "Pneumatikplan PFSF.001" foi ordenado sob o "Modul3 Ausschiebzylinder". Desta forma o princípio de um artefato técnico com múltiplas disciplinas (visões) pôde também ser mantido para a abstração "Módulo" do Domínio MPS.

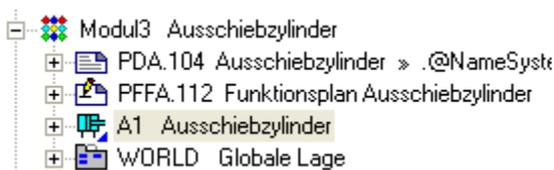


Figura 41 Objeto A1 Ausschiebzylinder abaixo do Módulo 3.

O objeto "A1 Ausschiebzylinder" é a Realização FT (Fluidtechnik) do "Módulo 3 Ausschiebzylinder". O objeto "A1 Ausschiebzylinder" pode ser encontrado no Diagrama Pneumático PFSF.001 (ver figura 40 objeto: S1.A1).

De forma análoga o objeto "A1" pode ser considerado como Interface do Módulo 3 com o Plano Pneumático PFSF.001 da "estação de separação" (ale. *Verteilen*).

A figura 42 mostra os respectivos sinais de saída do objeto "Y1 Magnetpulse" do "Módulo 3 Ausschiebzyylinder". As saídas de CLP da Estação de Separação "Verteilen" se encontram no diagrama unifilar PFSS.102.

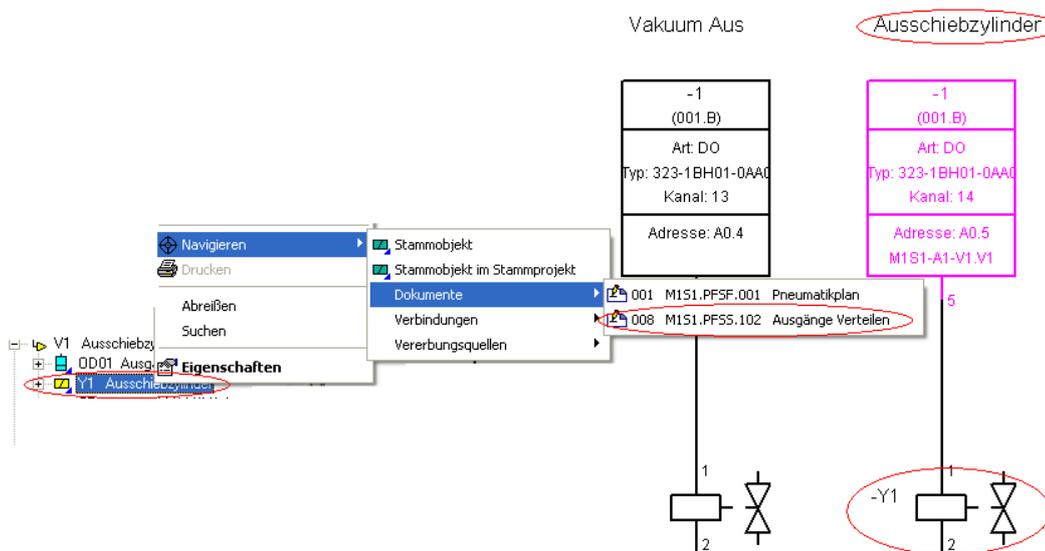


Figura 42 O objeto Y1 no diagrama unifilar PFSS.102 da Estação de Separação.

O objeto Y1 "Magnetpulse" da válvula do *Ausschiebzyylinder* foi ordenado sob o Módulo 3 "Ausschiebzyylinder". Da mesma forma que o objeto A1 pode-se considerar o objeto Y1 como a Realização da disciplina elétrica, ou como a interface do módulo 3 "Ausschiebzyylinder" com o diagrama unifilar elétrico PFSS.102 (Saídas da Estação de separação "Verteilen").

Para a modelagem da visão Tecnologia de Informação (através de *Funktionsplan*) foram criados primeiramente todos os FB's do domínio MPS e ordenados sob "*Stammobjekte* (Repositório no Comos)" (ver figura 43). A modelagem e realização dos FBs para a existente planta MPS foram realizadas em [Eber09]. Os FBs do Comos foram modelados a partir do Modelo e Código existentes, que foram analisados durante o passo "DE4".

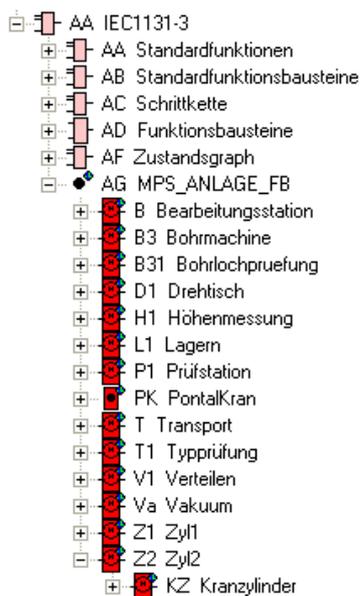


Figura 43 Repositório de FBs no Comos.

Para a modelagem dos módulos referentes ao Software de CLP e das estações do Domínio MPS, foi instanciado um FB em *Funktionsplan* para cada artefato técnico reutilizável, o qual teve identificada a necessidade da disciplina "S" (SW-CLP) durante o passo "DE2". Nos *Funktionsplan* os sinais elétricos (na visão ET) foram interligados com os FBs (SW de CLP).

Aqui é importante ressaltar a integração dos dados entre as diferentes disciplinas através do paradigma de orientação a objetos presente na ferramenta Comos.

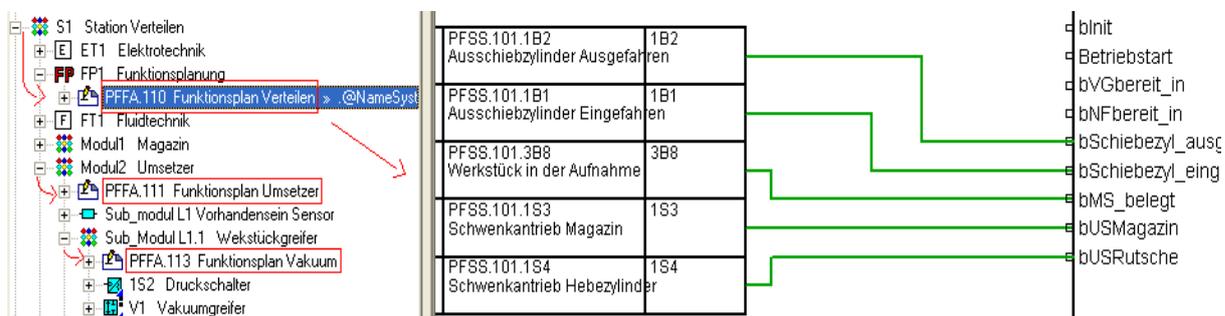


Figura 44 Funktionsplan PFFA.100 Estação de Separação.

No lado esquerdo da figura 44 pode-se observar a modelagem (SW-CLP) da Estação de Separação "Verteilen" através do diagrama PFFA.110, a modelagem do Módulo 2 "Umsetzer" através do PFFA.111, e a modelagem do Sub_modulo L1.1 "Werkstückgreifer"

através do PFFA.113. Já no lado direito pode-se observar a ligação dos sinais elétricos com as entradas de um FB.

A realização do Software de CLP (código) deve ser implementada em um CLP, baseada nesta modelagem do Comos.

5.3.3.1 Síntese da Modelagem (DE5) e Realização (DR1)

Na última seção foram apresentadas a Modelagem e a Realização dos artefatos técnicos reutilizáveis, através de imagens do projeto do Domínio MPS no Comos.

Cada artefato técnico reutilizável segue o conceito que foi definido durante a concepção deste trabalho: "artefatos técnicos multidisciplinares reutilizáveis", onde cada disciplina é modelada e/ou realizada baseada no paradigma de orientação a objetos. Estes artefatos técnicos foram ordenados em uma estrutura em formato árvore em diferentes níveis de abstração (Estação, Módulo, Sub_módulo, entre outros).

Cada disciplina/visão de cada artefato técnico do Domínio foi modelada ou realizada/implementada no Comos. Para a disciplina/visão mecânica foi apresentada a interface entre os desenhos 2D e o modelo em 3D da ferramenta SolidWorks. Para a elétrica (Comos ET) foram apresentados os diagramas unifilares e para a Pneumática (Comos FT) os diagramas pneumáticos.

A modelagem comportamental correspondente à disciplina Tecnologia de Informação (neste caso: SW-CLP) foi realizada baseada em FBs, que foram definidos durante a concepção deste trabalho como "unidades comportamentais reutilizáveis". Para tal foram usados os diagramas "FP – *Funktionsplan*" da ferramenta Comos.

5.3.4 DR2

Os artefatos técnicos reutilizáveis, que foram criados e salvos no Comos (Repositório do Domínio) após a modelagem (DE5) e Realização (DR1), devem ser posteriormente implementados em diferentes aplicações (Engenharia de Aplicação).

Durante o passo "DR2" devem ser documentadas indicações quanto à Parametrização e Configuração dos artefatos técnicos Tipo B e sobre o Detalhamento dos artefatos técnicos tipo C. Isto serve para a Engenharia de Aplicação.

Os artefatos técnicos tipo A não precisam de alterações durante a Engenharia de Aplicação, desta forma os mesmos podem aqui ser desconsiderados.

5.4 Validação da Modelagem do Domínio MPS

Nesta seção será analisado, se a Modelagem e a Realização dos artefatos técnicos reutilizáveis no Comos correspondem ou atendem ao Modelo de Variações que foi realizado durante o passo "DA3" (ver figura 45).

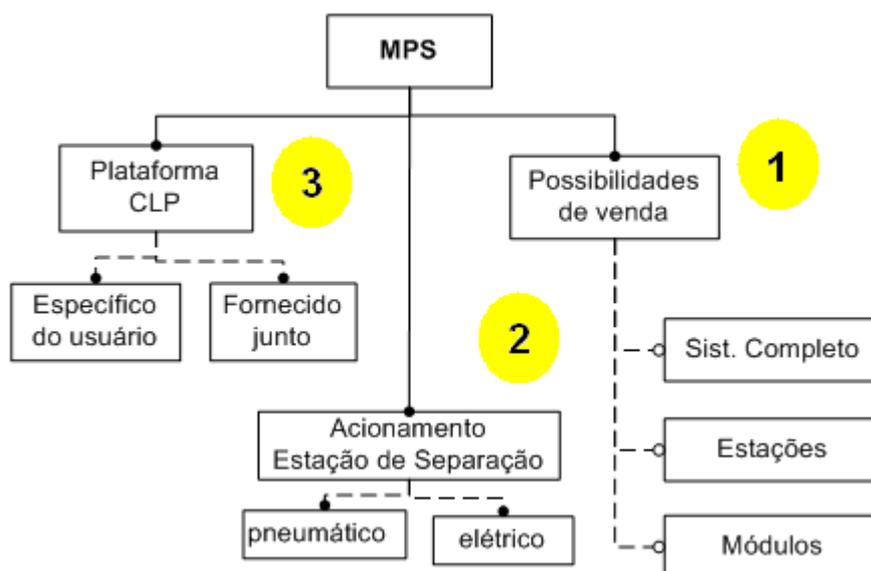


Figura 45 Parte do modelo de variações do Domínio MPS.

1. As possibilidades de venda: Sistema Completo, Estação, Módulo foram atendidas durante a execução do passo "DE1". Cada um destes artefatos técnicos foi implementado com

artefatos diferentes em diagramas independentes no Comos. Uma análise detalhada da Modelagem e Realização dos Objetos em Comos já foi feita no Capítulo 5.3.

2. Para endereçar a possibilidade de variação da estação de separação "Verteilen", foi criada durante a execução do passo "DE1" a abstração "Option". A realização de 2 possíveis sistemas de acionamento (ale. *Ansteuerung*), pneumático ou elétrico para o Motor de rotação (ale. *Schwenkantrieb*) do braço de rotação (ale. *Rotationsarm*) atende aos requisitos do modelo de variações (ver figura 46).

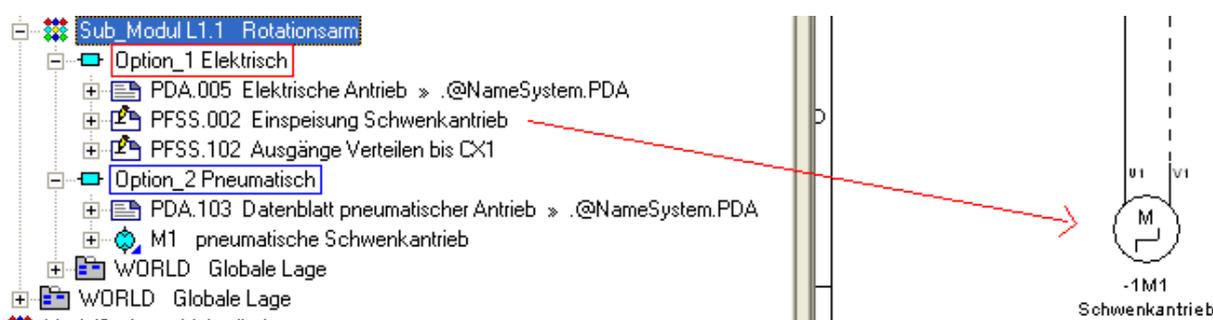


Figura 46 Option_1 Elétrica do acionamento do braço de rotação (ale *Rotationsarm*).

Neste caso a "Opção 1 Elétrica" foi considerada como default. Por isso todas as interligações dos objetos desta opção com demais objetos foram feitas. Isto significa que a estação de separação "Verteilen" pode ser construída com sistema de acionamento elétrico sem modificações (ver figura 47).

Para a "Opção 2 Pneumática" foram realizados todos os objetos, porém nenhuma ligação com os demais objetos das outras disciplinas do domínio. Para se poder realizar esta opção é necessária uma revisão do Projeto, na qual os novos objetos da "Opção 2 Pneumática" devem ser conectados aos demais objetos do domínio, ao invés dos objetos da "Opção 1 Elétrica". Uma outra possibilidade seria implementar a estação de separação "Verteilen" duas vezes, uma para cada opção. Neste caso teria-se um Repositório com objetos para a "Option 1" e um outro Repositório para a "Option 2".



Figura 47 Variação multidisciplinar – dificuldade no Comos.

Por este motivo foi adicionado um passo à metodologia "DE adaptada". Este novo passo "DR2" substitui o "DE4 Descrição das possibilidades de configuração e parametrização da arquitetura de referência" da metodologia existente e serve principalmente como suporte para a Engenharia de Aplicação, onde os artefatos técnicos "Tipo B" devem ser configurados e parametrizados e os artefatos técnicos "Tipo C" detalhados.

3. A possibilidade de variação referente a "3. Fornecimento da plataforma de CLP: Específica do usuário ou fornecida em conjunto" [MPSK99] traz dois desafios:

- I. O primeiro desafio se encontra na disciplina elétrica. Como devem ser ligados os sinais dos objetos com as entradas e saídas do CLP?

Para superar este desafio foram criados diagramas unifilares em separado, uma para os sinais de entrada de cada estação, e outro para o CLP (fig. 48). Isto significa, que cada estação necessita de uma painel de ligação com régua específicas, caso o CLP não seja fornecido em conjunto.

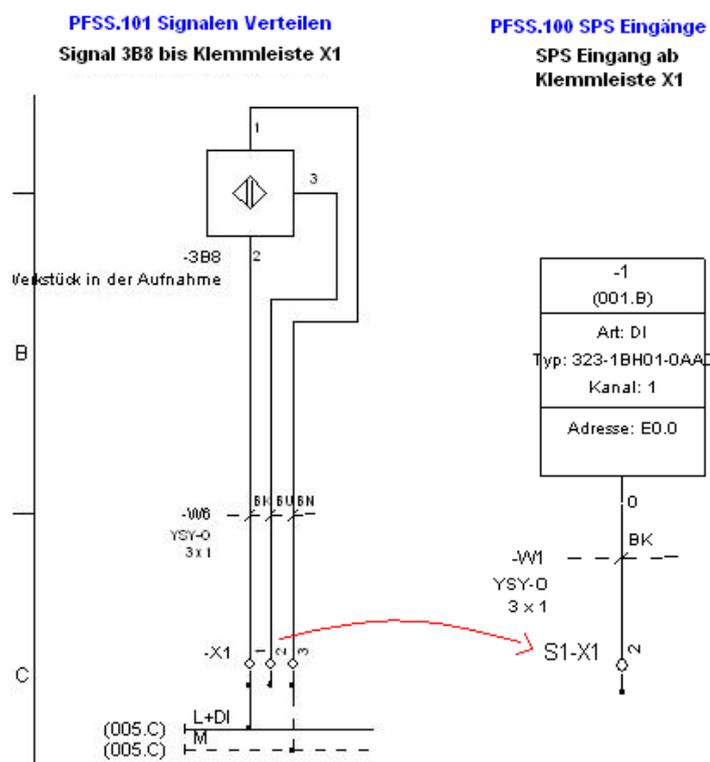


Figura 48 Diagrama Unifilar (caso de plataforma de CLP definida pelo usuário).

- II. O segundo desafio se encontra na disciplina SW-CLP. Com a compra da empresa Innotec/Comos pela Siemens, a integração entre o Comos e a plataforma de CLP da Siemens foi melhorada. Mas o que acontece com outras plataformas de CLP?

O desenvolvimento de Software independente da plataforma de CLP (em especial para este trabalho de mestrado: Blocos Funcionais (FB`s)) é um campo passível de pesquisa. Na seção a seguir será apresentado um método baseado na linguagem SysML [OMGSys], que propõe uma modelagem de FB's independentes da plataforma de CLP.

5.4.1 Projeto de FB's independentes da Plataforma de CLP

Após a compra da Innotec/Comos pela Siemens a ligação entre o Comos e a ferramenta STEP7 da Siemens evoluiu (ver fig. 49). Mas o ponto principal é que é normalmente necessária a implementação de componentes de Software de CLP em diferentes

plataformas. Por esta razão é importante a pesquisa de outras formas para o Projeto de um FB, no qual o objetivo é um modelo independente de plataforma.

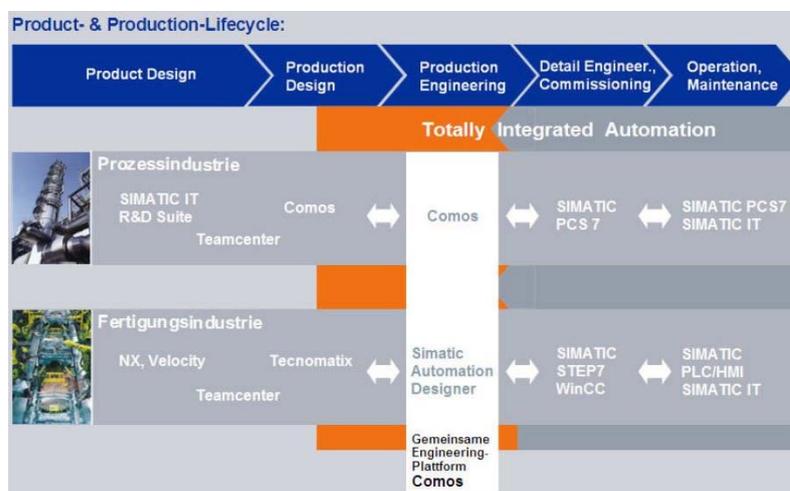


Figura 49 Correlação entre o Comos e as Plataformas de CLP Siemens.

Existem diversas iniciativas de pesquisa que buscam a adaptação dos objetos UML a componentes de automação como o FB. Exemplos podem ser encontrados em [Thra01] [Dubi04].

Uma das iniciativas utiliza o conceito de estereótipos em UML ("*UML-Stereotype*") [BoFa05]. A principal idéia é a adição de portas aos objetos UML. Os objetos UML possuem entre outros, métodos e características, mas não têm uma adaptação perfeita aos I/O de um FB. Outros trabalhos direcionados a adaptação de UML para FB's propõem os chamados FB adaptadores como em [Heve05].

[Chir07] afirma, que a OMG decorrente das iniciativas de pesquisa acima listadas, promoveu e publicou (SysML) *System Modelling Language* [OMGSys]. Em especial em SysML pode-se observar a criação de dois novos diagramas, inexistentes em UML: o (Bdd) *Block Definition Diagram* e o (Ibd) *Internal Block Diagram*

[Chir07] aponta também que "a criação de ferramentas, que suportam a modelagem de Sw de CLP através de UML, não está planejada pela comunidade de automação". Todavia

neste trabalho de mestrado o FB "unidade comportamental reutilizável" será modelado através de UML/SysML, justamente para viabilizar a implementação destes FB's em diferentes plataformas de CLP.

Importante ressaltar que a modelagem em UML/SysML é independente de plataforma. Estes modelos podem ser facilmente convertidos no formato XML e posteriormente importados e interpretados por diferentes plataformas de diferentes fabricantes.

Além disso, as razões por esta opção de modelagem do FB usando UML/SysML são a seguir apontadas:

- A existência de iniciativas de pesquisa para UML/SysML ou orientada a objetos para objetos mecatrônicos (multidisciplinares), como em [Kasp05], [Mroz01], [Schm04] e [Schm05].
- UML já é utilizada vastamente nas camadas mais elevadas da pirâmide de automação/TI. De acordo com [Löwe09] existe uma tendência, na qual as funcionalidades se desloquem das camadas mais altas da pirâmide para as camadas mais baixas. Isto significa, por exemplo que no futuro as funcionalidades de "MES" (ing. *Manufacturing Execution System*) podem acabar sendo realizadas em conjunto na camada de sinais, uma vez que com o aumento da capacidade de processamento dos sistemas computacionais embarcados, a execução de tais funcionalidades se tornaria possível.
- A criação da IEC61499, que aborda FBs distribuídos. Aqui existem também algumas iniciativas de pesquisa, como em [Dubi04] ou [BoFa00].
- Um exemplo de uma tentativa de implementação com SysML para a modelagem de um IEC61131 FB pode ser encontrada em [Chir07].

A relação entre Projeto, que para este trabalho de mestrado somente se constitui de Software de CLP, e a Realização do Domínio de uma planta industrial é mostrado na figura 50.

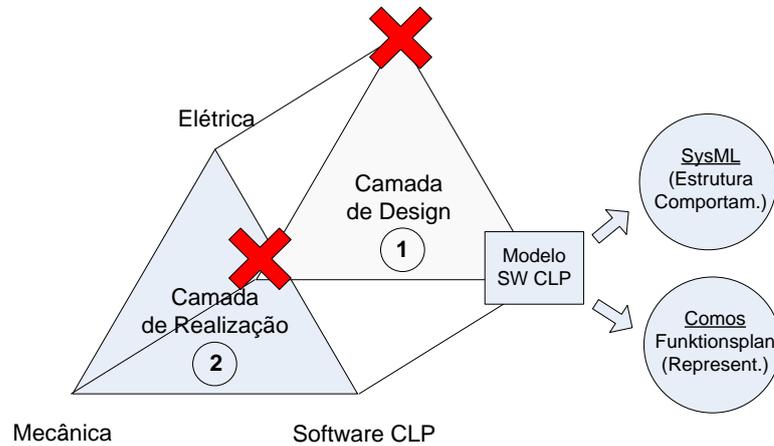


Figura 50 Projeto vs. Realização de uma planta industrial.

Para detalhar o Software de CLP será então na figura 51 mostrada a fronteira entre Projeto e Realização assim como as respectivas atividades propostas neste trabalho:

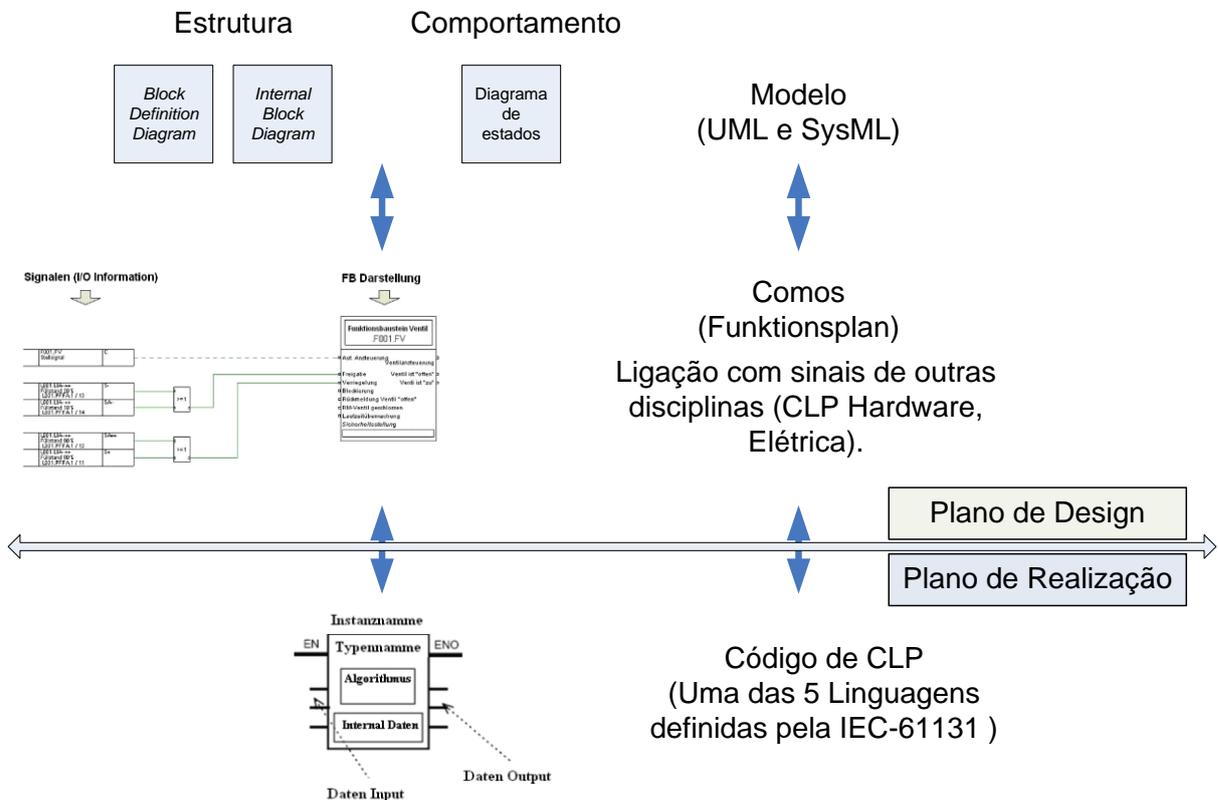


Figura 51 Projeto e Realização de FBs orientados a reuso.

6 MODIFICAÇÕES EM RELAÇÃO À METODOLOGIA "DE EXISTENTE"

A Análise do Domínio foi executada fora da ferramenta PLM Comos. Já os passos do Projeto e da Realização do Domínio da metodologia existente foram adaptados para ferramentas PLM que se baseiam no paradigma de orientação a objetos.

Nas seções subsequentes serão descritas as modificações em relação a metodologia "DE existente". Além disso serão levantados pontos importantes e possíveis campos de pesquisa relacionados.

6.1 Análise do Domínio (DA)

Durante a execução do passo "DA1 Identificação das fronteiras do Domínio" foi importante também levantar as normas relacionadas ao desenvolvimento do Projeto.

Durante o passo "DA2 Definição dos requisitos do Domínio" foi importante já analisar as possíveis variações das futuras aplicações.

Identificação e Priorização dos grupos de interesse ("DA3" de acordo com [Maga09(c)]) pode ser executado juntamente com o "DA2" da metodologia "DE adaptada".

Para o "DA3 Definição e modelagem das possibilidades de variação" foi criado um Diagrama de Características. Diagrama de Características são normalmente aplicados à categoria Produto (de um sistema de automação), porque a partir de apenas um Diagrama de Características pode-se criar um grande número de dispositivos.

Do outro lado se encontra a categoria "Plantas Industriais", que engloba sistemas complexos com grandes diferenças entre os projetos. O sistema modular de produção MPS é uma versão simplificada de uma planta industrial, porque possui poucas possíveis variações. A planta modular de produção MPS poderia ser inclusive categorizada como produto.

Para a planta modular de produção (MPS) foi suficiente a elaboração de um Diagrama de Características para a modelagem das possibilidades de variação. Mas para plantas industriais reais outras possibilidades de modelagem das variações devem ser estudadas e pesquisadas.

O "DA4 Análise dos sistemas de automação existentes no Domínio" foi executado depois do "DA3 (Modelo de Variações)". Para a Análise dos sistemas de automação existentes no Domínio é importante já saber as possibilidades de variação dos sistemas futuros do domínio. Isto auxilia na orientação e organização da Análise (DA4).

Além disso o "DA3 Possibilidades de variação" é uma consequência do "DA2 Requisitos", e não deve ser influenciado por "DA4 Sistemas de automação existentes". Isto significa que as possibilidades de variação devem corresponder exclusivamente aos requisitos dos clientes.

6.2 Projeto do Domínio (DE)

Na seção 6.2.1 serão descritas as modificações do "Projeto do Domínio adaptado" em relação aos passos do Projeto do Domínio da metodologia existente.

Na seção 6.2.2 serão comparados a idéia e o conceito de Projeto da metodologia "DE adaptada" com relação à metodologia "DE existente".

6.2.1 DE1 até DE4

Quatro passos (DE1 até DE4) foram executados anteriormente a efetiva modelagem e realização, que são responsáveis pela estruturação do projeto.

O novo passo "DE1" foi adicionado, porque a identificação assim como a definição do grau de abstração dos artefatos técnicos reutilizáveis são importantes. Este passo é complexo, e neste caso quando são considerados artefatos técnicos com múltiplas disciplinas, ainda mais.

Três critérios para a identificação dos artefatos técnicos foram aqui utilizados, os quais podem ser expandidos em trabalhos futuros. Cada situação é diferente da outra, desta forma seria até mais conveniente não ter critérios definidos, porém apenas princípios orientativos como recomendação.

Sistemas de automação englobam mais disciplinas em comparação com a engenharia de Software. Decorrente disso é necessária a execução do passo "DE2".

A quantidade de possibilidades de modelagem e Realização (em determinadas situações também ferramentas para simulações) de um sistema de automação é muito grande. Quando se observa que as ferramentas para modelagem e realização podem ser combinadas de diversas formas, este número de possibilidades é ainda maior. Por esta razão é necessária a execução do passo "DE3".

A identificação das possibilidades de realização pode ocorrer também durante a Realização do Domínio (como em [Maga09(c)]). Mas vantagens podem ser observadas quando a identificação das possibilidades de modelagem é realizada em conjunto com as possibilidades de realização, porque normalmente os ambientes de modelagem e realização são interligados.

Dentro deste passo deve ser também realizado o mapeamento, que significa a definição da interrelação entre ferramentas.

O passo "DE3" pode até ser executado mais cedo. Para este autor é importante identificar os meios (ferramentas, módulos, diagramas) de desenvolvimento do projeto para um determinado domínio o mais cedo possível, pois estes meios de desenvolvimento contém restrições adicionais com respeito à reutilização de artefatos.

"DE4" deve ser executado por especialistas. Importante aqui é a observação da interrelação entre as disciplinas.

6.2.2 DE5 Modelagem

[Maga09(c)] propõe a seguinte estruturação do projeto de um sistema de automação:

"O processo técnico, assim como as suas variantes, devem ser descritos, assim como a conexão entre Requisitos e funções dos sistemas futuros.

Funções serão sintetizadas em artefatos únicos, para os quais diferentes princípios de ação devem ser listados.

Arquiteturas de referência devem ser criadas, as quais representam uma organização abstrata dos artefatos."

O objetivo desta estrutura de modelagem fixa, de [Maga09(c)], é a ligação dos artefatos técnicos com funções e requisitos, além do suporte à Realização do Domínio.

Para se alcançar este objetivo podem ser adicionados novos passos à metodologia adaptada, que suportam a ligação dos requisitos com funções e a ligação de funções com artefatos técnicos. Desta forma é sugerida a adição de 2 novas etapas à metodologia adaptada (ver fig. 52).

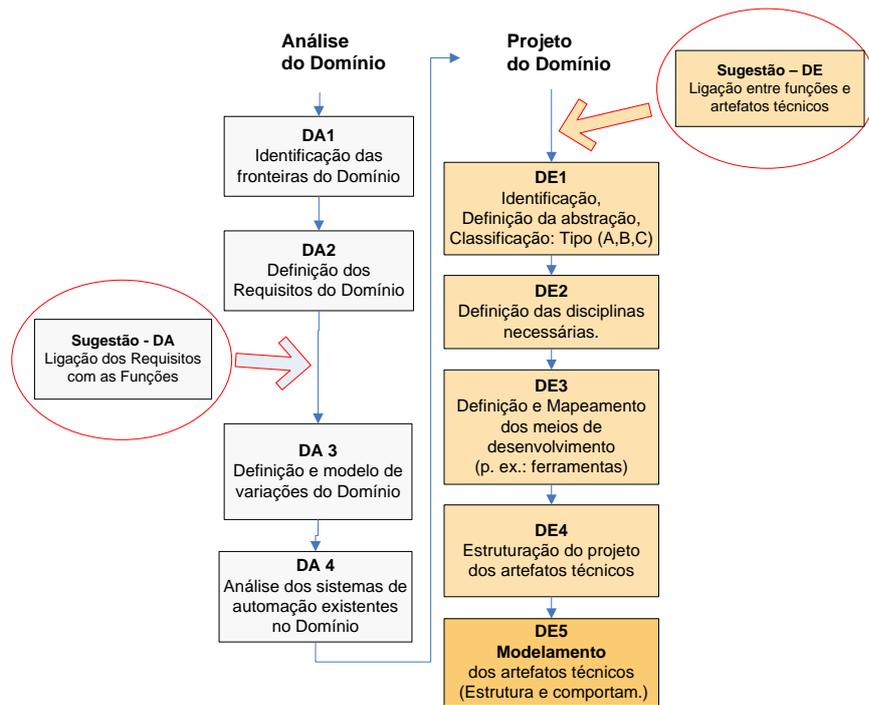


Figura 52 Ligação Requisitos/Funções/Artefatos Técnicos.

As etapas sugeridas podem ser transformadas em novos passos, serem executadas dentro de um passo existente, ou no futuro talvez até serem automaticamente executadas por alguma ferramenta. Importante aqui é que esta ligação não é da forma "1:1:1". Isto significa que um requisito corresponde não somente a uma função, ou uma função corresponde não somente a um artefato técnico. Decorrente disso são necessárias pesquisas adicionais referentes à esta interligação.

Todavia é importante ressaltar a flexibilidade da metodologia "DE adaptada" em comparação com a metodologia existente. Isto significa que a metodologia "DE adaptada" possibilita ao usuário definir não somente os meios (ferramentas, diagramas) de Realização, como também os meios de Modelagem dependentes do domínio.

O principal foco da metodologia "DE adaptada" é a criação de artefatos técnicos reutilizáveis. Estes artefatos técnicos reutilizáveis devem cobrir o grau de variação das aplicações futuras, para que as novas aplicações sejam implementadas com o menor dispêndio possível.

6.3 Realização do Domínio (DR)

Após os complicados passos da Análise e do Projeto do Domínio, o passo DR1 (Realização) engloba agora a efetiva Realização dos artefatos técnicos reutilizáveis.

O passo "DA4. Configuração e Parametrização" da metodologia existente foi substituído pelo passo "DR2. Indicações quanto à Configuração e Parametrização dos artefatos técnicos Tipo B e quanto ao Detalhamento dos artefatos técnicos Tipo C".

Gerenciamento de projetos se encontram em uma outra camada do desenvolvimento de um projeto. Todavia podem também ser aqui executados, ligados a artefatos técnicos, funções ou requisitos.

6.4 Síntese da Adaptação

Na figura a seguir, serão sintetizadas as alterações realizadas na metodologia "DE existente".

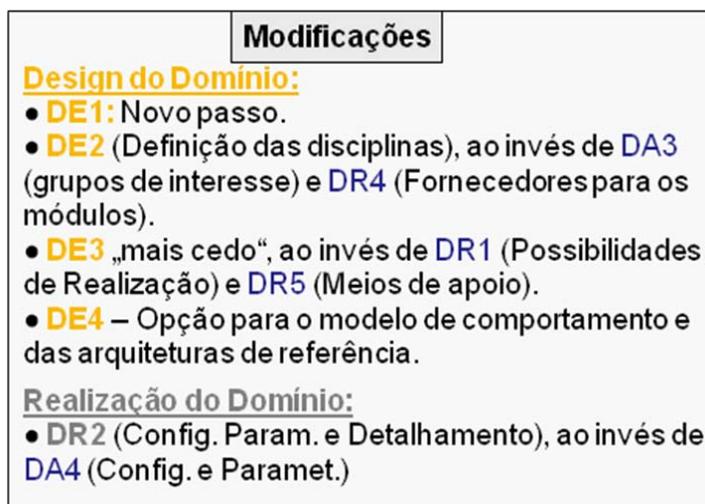


Figura 53 Os novos passos da metodologia DE adaptada em relação aos passos da existente.

7 AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA PLM COMOS

Neste capítulo serão levantados os aspectos positivos e negativos da ferramenta Comos durante este trabalho de mestrado.

7.1 Ponto positivo

Na seção 7.1.1 serão comparadas as propriedades do paradigma de orientação a objetos da engenharia de Software com as propriedades existentes na ferramenta Comos.

Na seção 7.1.2 será apresentada a Modelagem e Realização de um artefato técnico Tipo A (estático) baseado nas propriedades do paradigma de orientação a objetos.

7.1.1 Comos – Princípio de orientação a objetos

Para a criação de FBs para *Funktionsplan* no Comos foram usadas as propriedades "Instância" e "Herança".

Primeiramente será observada a propriedade "Herança". Na figura 54 estão representadas as conexões (entradas (ale. *Eingang*) e saídas (ale. *Ausgang*)) do FB "Zyl2".

System	Systemeinstellungen	Spezifikationen	Elemente	Anschlüsse	Symbole	Scr
Name	Kennzeichen vom Eigentümer	Kennzeichen	Beschreibung	E/A	Typ	Subty
✚IX1	Nein	IX1	bEnable	Eingang	Signal	BOOL
✚IX2	Nein	IX2	bStart	Eingang	Signal	BOOL
✚IX3	Nein	IX3	tPosition	Eingang	Signal	INT
✚IX4	Nein	IX4	lInit	Eingang	Signal	BOOL
✚IX5	Nein	IX5	bAnFos1	Eingang	Signal	WORD
✚IX6	Nein	IX6	bAnFos2	Eingang	Signal	BOOL
✚IX7	Nein	IX7	tZurdauer	Eingang	Signal	TIME
↔IX8	Nein	IX8	bMagazinVoll	Ausgang/Eig	Signal	BOOL
✚OX1	Nein	OX1	bDone	Ausgang	Signal	BOOL
✚OX2	Nein	OX2	bActive	Ausgang	Signal	BOOL
✚OX3	Nein	OX3	bError	Ausgang	Signal	BOOL
✚OX4	Nein	OX4	ErrorCode	Ausgang	Signal	BOOL
✚OX5	Nein	OX5	bZuFos1	Ausgang	Signal	BOOL
✚OX6	Nein	OX6	bZuFos2	Ausgang	Signal	BOOL
↔OX7	Nein	OX7	bLagerVoll	Ausgang	Signal	BOOL

Figura 54 Conexões do FB Zyl2

FB "Kranzylinder" necessita de apenas duas conexões (Entrada (ale. *Eingang*): bMagazinVoll e Saída (ale. *Ausgang*): bLagervoll) em comparação com FB "Zyl2". Desta forma foi usada a Propriedade "Herança" para a criação do FB "Kranzylinder". O símbolo  na figura a seguir representa sinais herdados:

System	Systemeinstellungen	Spezifikationen	Elemente	Anschlüsse	Symbole	Scr
Name	Kennzeichen vom Eigentümer	Kennzeichen	Beschreibung	E/A	Typ	Subty
 IX1	<i>Nein</i>	<i>IX1</i>	<i>bEnable</i>	<i>Eingang</i>	<i>Signal</i>	<i>BOOL</i>
 IX2	<i>Nein</i>	<i>IX2</i>	<i>bStart</i>	<i>Eingang</i>	<i>Signal</i>	<i>BOOL</i>
 IX3	<i>Nein</i>	<i>IX3</i>	<i>tPosition</i>	<i>Eingang</i>	<i>Signal</i>	<i>INT</i>
 IX4	<i>Nein</i>	<i>IX4</i>	<i>ilnit</i>	<i>Eingang</i>	<i>Signal</i>	<i>BOOL</i>
 IX5	<i>Nein</i>	<i>IX5</i>	<i>bAnPos1</i>	<i>Eingang</i>	<i>Signal</i>	<i>WORD</i>
 IX6	<i>Nein</i>	<i>IX6</i>	<i>bAnPos2</i>	<i>Eingang</i>	<i>Signal</i>	<i>BOOL</i>
 IX7	<i>Nein</i>	<i>IX7</i>	<i>tZeitdauer</i>	<i>Eingang</i>	<i>Signal</i>	<i>TIME</i>
 IX8	<i>Nein</i>	<i>IX8</i>	bMagazinVoll	Ausgang/Eig	Signal	BOOL
 OX1	<i>Nein</i>	<i>OX1</i>	<i>bDone</i>	<i>Ausgang</i>	<i>Signal</i>	<i>BOOL</i>
 OX2	<i>Nein</i>	<i>OX2</i>	<i>bActive</i>	<i>Ausgang</i>	<i>Signal</i>	<i>BOOL</i>
 OX3	<i>Nein</i>	<i>OX3</i>	<i>bError</i>	<i>Ausgang</i>	<i>Signal</i>	<i>BOOL</i>
 OX4	<i>Nein</i>	<i>OX4</i>	<i>ErrorCode</i>	<i>Ausgang</i>	<i>Signal</i>	<i>BOOL</i>
 OX5	<i>Nein</i>	<i>OX5</i>	<i>bZuPos1</i>	<i>Ausgang</i>	<i>Signal</i>	<i>BOOL</i>
 OX6	<i>Nein</i>	<i>OX6</i>	<i>bZuPos2</i>	<i>Ausgang</i>	<i>Signal</i>	<i>BOOL</i>
 OX7	<i>Nein</i>	<i>OX7</i>	bLagerVoll	Ausgang	Signal	BOOL

Figura 55 Conexões do FB Kranzylinder

Agora será observada a propriedade "Instância". FB "Zyl2" foi implementado nos *Funktionsplan* dos módulos "Umsetzer" e "Heben". Os sinais, que foram conectados à cada FB, são evidentemente diferentes nas duas instâncias. Todavia a estrutura de ambos FB's é a mesma.

A propriedade "Interface" foi usada na ligação entre os diferentes artefatos técnicos.

Na figura a seguir está apresentada a unidade V1 "Vakummgreifer" do Sub_módulo L1.1 "Werkstückgreifer" (agarrador de peças). A unidade V1 "Vakummgreifer" será implementada em um Diagrama Pneumático (não está mostrado na próxima figura). Importante aqui é o objeto Y2 "Vakuu Ein", que é responsável pela "Interface" entre a unidade V1 "Vakuu greifer" com o Funktionsplan. Y2 "Vakuu Ein" será conectado com a Saída (ale. *Ausgang*) "bVakummAn" do FB "Vakuu".

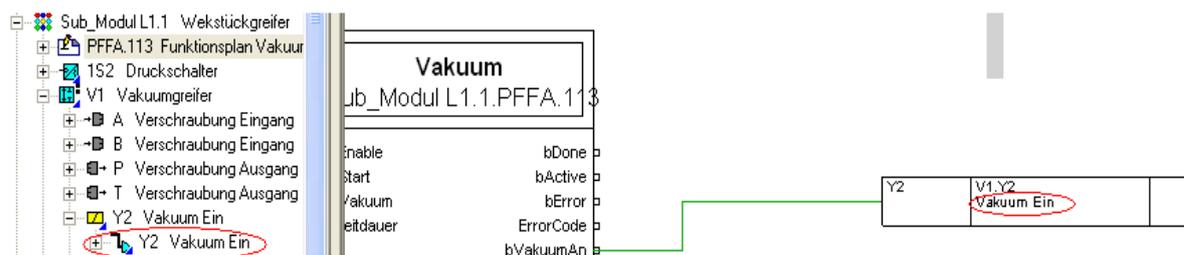


Figura 56 Objeto Y2 é responsável pela interface do Objeto V1

Neste exemplo foi usado um objeto adicional para a interface. Todavia as conexões representadas nas figuras 54 e 55 também podem ser consideradas como "Interface" do objeto FB.

Além disso outras propriedades do paradigma de orientação a objetos da engenharia de Software podem ser encontradas no Comos. Um exemplo é "Encapsulamento de Dados", porque cada objeto em Comos possui específicas informações técnicas.

7.1.2 Criação com sucesso de um artefato técnico Tipo A

A criação de um artefato técnico reutilizável com múltiplas disciplinas de Tipo A (estático) pôde ser realizada no Comos com sucesso (fig. 57).

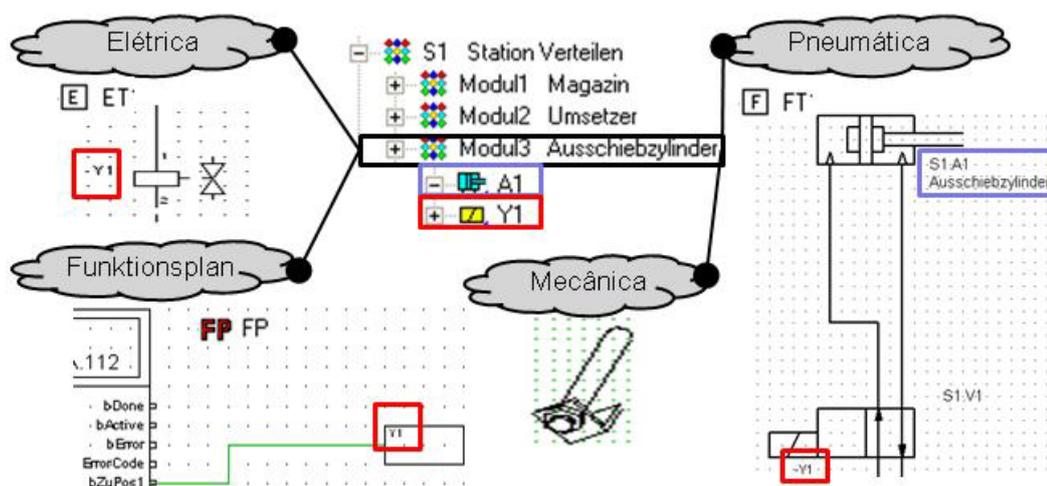


Figura 57 Artefato técnico multidisciplinar reutilizável do Tipo A no Comos: *Ausschiebzylinder*

Através do paradigma de orientação a objetos, artefatos técnicos de uma disciplina podem ser conectados a artefatos técnicos de outras disciplinas. Na figura 57 os objetos "A1" e "Y1" foram ordenados sob o "Modul3 Ausschiebzylinder".

7.2 Lacunas

Nesta seção serão apresentadas as lacunas da ferramenta PLM Comos, identificadas durante a execução deste trabalho de mestrado.

Primeiramente é importante a divisão dos artefatos reutilizáveis em técnicos e não técnicos. Os primeiros contêm informações das disciplinas (mecânica, elétrica e Software). Exemplos de artefatos não técnicos são: Diagrama de Variações, Requisitos, e informações de gerenciamento de projetos (ver figura 6).

Neste trabalho foram usadas outras ferramentas para a Análise do Domínio, que abordam os tais artefatos não-técnicos. Todavia o Comos possibilita a adição destes artefatos não-técnicos como documentos.

Na figura 59 estão mostrados os Requisitos (ale. *PE Technische Anforderungen*), descrição das funções (*PF Funktionsbeschreibungen*), e gerenciamento de projetos (*PB Projektmanagement*).



Figura 58 Artefatos não técnicos anexados como documento no Comos

Na seção 5.4 foi descrita a dificuldade com o Comos durante a Realização de artefatos técnicos com variações multidisciplinares do Tipo C, como o "Rotationsarm" (braço de rotação). Quando este artefato técnico tiver que ser produzido com sistema de acionamento pneumático ao invés de elétrico (situação default), são necessárias modificações no artefato

técnico, especificamente com relação à ligação dos objetos de uma disciplina com os objetos das outras disciplinas.

Desta forma conclui-se que os módulos (ET, FT, FP) da ferramenta Comos não suportam a definição de "componente". Segundo [Göhn09(c)] componentes são artefatos técnicos em uma alta abstração e não são modificáveis. Isto quer dizer que o artefato técnico Tipo C "Rotationsarm" no Comos não é um componente, pois o mesmo necessita de modificação, dependendo da opção escolhida (elétrica ou pneumática).

Cabe ressaltar que estes artefatos técnicos do Tipo C foram modelados/realizados no Comos, porém tal modelagem/realização se baseou no paradigma de orientação a objetos. A modelagem através de objetos traz a necessidade de modificações conforme a opção escolhida.

Não é só a ferramenta PLM Comos que apresenta dificuldades para lidar e/ou cobrir as variações de uma aplicação. No entendimento deste autor aqui se encontra um ponto importante de pesquisa para trabalhos futuros.

8 UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA "DE ADAPTADA" NA PRÁTICA

A metodologia "DE adaptada", concebida neste trabalho de mestrado, foi experimentalmente executada em conjunto com a ferramenta PLM Comos para o estudo de caso: Domínio MPS. O resultado foi a criação com êxito de artefatos técnicos multidisciplinares reutilizáveis para o domínio em questão.

No entanto, deve-se ressaltar três pontos ou condições importantes considerados na concepção da metodologia "DE adaptada" durante este trabalho e que devem ser observados para futuras execuções desta metodologia em outros projetos, conforme a seguir:

O **primeiro ponto** é que a ferramenta PLM deve suportar propriedades do paradigma de orientação a objetos e/ou componentes da engenharia de Software, como Instância, Interface e Herança. Além disso, estas propriedades devem suportar a integração dos dados das diferentes disciplinas.

O **segundo ponto** refere-se ao passo "DA4. Análise dos sistemas de automação existentes no Domínio". O trabalho de [Roth10] com respeito ao modelo 3D e o trabalho de [Eber09] com respeito ao desenvolvimento do Software de CLP, além é claro da excelente documentação existente da Planta MPS, foram decisivos durante este trabalho, pois influenciaram no Projeto do Domínio.

Caso nenhum sistema de automação com tal nível de documentação e informação estivesse presente, passos adicionais antes de "DE1. Identificação, Definição da abstração e classificação do Tipo (A, B, C)" devem ser executados (ver seção 8.1 para mais detalhes).

O **terceiro ponto** refere-se ao baixo grau de variação do Domínio MPS, que pode ser também classificado como produto. Normalmente plantas industriais contém um grau de variação maior.

Decorrentes disso, a seguir estão sintetizadas as condições a serem levadas em conta para a utilização da metodologia "DE adaptada" em outros projetos de automação:

1. A ferramenta PLM (*Production Lifecycle Management*) deve suportar as propriedades do paradigma de orientação a objetos e/ou componentes, e a partir destes suportar a integração dos dados entre disciplinas.
2. Os sistemas de automação existentes no Domínio devem se assemelhar às aplicações futuras.
3. O grau de variabilidade do Domínio deve ser pequeno.

8.1 Caso não existam sistemas de automação semelhantes no Domínio

Conforme já comentado, a documentação da planta MPS existente no IAS é de muito boa qualidade. Além disso a planta existente é semelhante às aplicações futuras do Domínio.

Decorrente disso, pôde-se partir logo para a identificação dos artefatos técnicos reutilizáveis (DE1), já no começo do Projeto do Domínio. Sem a presença desta planta MPS existente no IAS, seria necessária a execução de passos anteriores mais abstratos.

O passo adicional sugerido na seção 6.2.2 "Ligação entre Características ou Funções e artefatos técnicos" (ver figura 61) poderia ser responsável por esta modelagem abstrata.



Figura 59 Passo a ser executado em caso de uma modelagem mais abstrata.

8.1.1 Modelagem abstrata na ferramenta PLM Comos

Se fosse necessária esta prévia modelagem abstrata, o módulo Comos Mechatronic poderia ter sido escolhido. Este módulo sugere uma abordagem desde a estruturação de

funções até a efetiva elaboração dos artefatos técnicos (mostrados na figura 62: Diagrama de Funções (ale. *Funktionsdiagramm*), Lista de entradas e saídas (ale. *EA-Liste*), *Elektrik*, *Mechanik*).

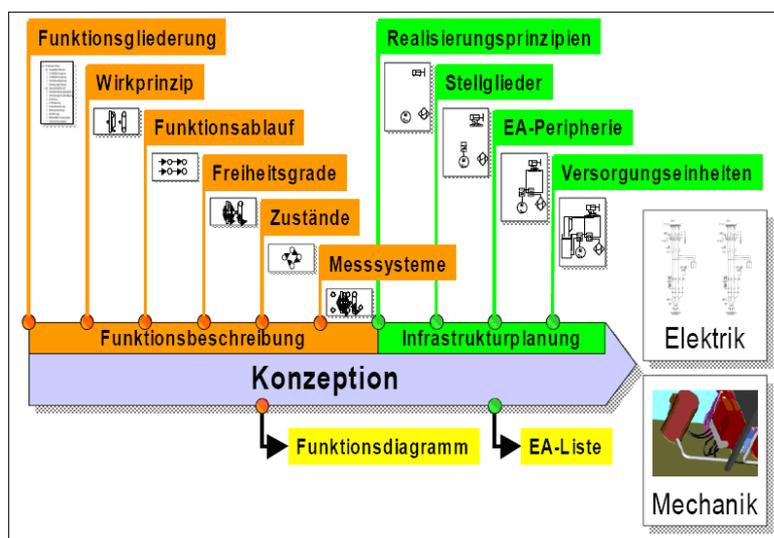


Figura 60 Passos dentro do Comos para uma modelagem mais abstrata

Todavia os artefatos técnicos que seriam posteriormente criados seguiriam a estrutura definida na concepção deste trabalho: artefatos técnicos multidisciplinares.

9 CONCLUSÃO

Primeiramente serão sintetizados os resultados deste trabalho de mestrado (9.1) e logo após serão apresentados possíveis trabalhos futuros (9.2).

9.1 Síntese do trabalho

Durante este trabalho foi elaborada uma metodologia "DE adaptada" baseada na metodologia "DE existente" no IAS, que teve os pontos principais de análise ou de pesquisa mostrados na Figura 16. A base para a adaptação da metodologia foi a elaboração do conceito de um artefato técnico multidisciplinar reutilizável, em que a modelagem e Realização de cada disciplina se baseiam no paradigma de orientação a objetos, hoje presente em algumas ferramentas PLM.

Todos os passos da metodologia adaptada foram executados para o Domínio MPS e por fim validados experimentalmente. Isto significa que como resultado da execução da metodologia adaptada em conjunto com a ferramenta PLM Comos, foram criados e salvos artefatos técnicos multidisciplinares reutilizáveis em diferentes graus de variação (Tipo A, B, C) (ver fig. 63). A partir destes artefatos técnicos podem ser criadas quantas novas plantas MPS for desejável, evidentemente que de acordo com o Modelo de Variações definido durante a Análise do Domínio (passo "DE 3").

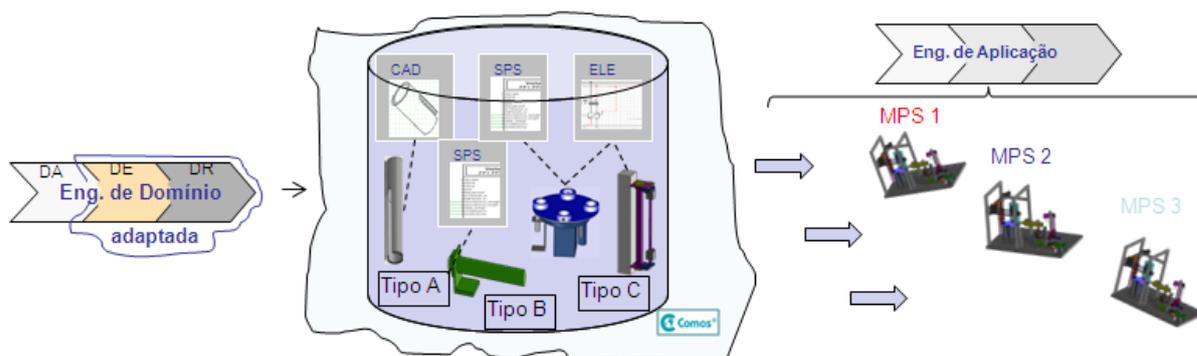


Figura 61 Resultado após a execução dos passos da metodologia "DE adaptada"

Por fim a metodologia adaptada não somente possibilitou a criação de artefatos técnicos reutilizáveis para um domínio concreto, dentro da classificação planta industrial, como também endereçou a questão de reuso considerando a integração dos dados entre as diferentes disciplinas de engenharia, abordagem que segundo [Nale09] é hoje inexistente.

Além disso, com respeito aos requisitos do IAS, foram todas as modificações com relação aos passos da metodologia existente documentados e explicados. E foram levantados os pontos positivos e negativos da ferramenta PLM Comos (escolhida para o protótipo deste trabalho) durante a execução dos passos da metodologia.

9.2 Trabalhos futuros

A principal dificuldade encontrada neste trabalho foi lidar com as variações do domínio, que foi representada através do exemplo da modelagem/realização de um artefato técnico do Tipo C. Baseado neste aspecto serão apresentadas a seguir então 2 possíveis continuidades para este trabalho de mestrado:

- Utilização da metodologia "DE adaptada" na prática:

Benefícios através de reutilização são alcançados, quando no mínimo 3 futuras aplicações estão presentes [Gohn09(a)]. Desta forma o custo adicional para a criação de artefatos reutilizáveis seria capaz de ser coberto.

Além disso, quanto maior for o grau de variação das aplicações futuras, mais complicada é a criação de artefatos técnicos reutilizáveis para estas aplicações. Desta forma, antes da utilização da metodologia "DE adaptada" na prática, a sugestão é escolher previamente domínios de aplicação onde não existam variações acentuadas. Demais condições para a utilização da metodologia "DE adaptada" em outros projetos foram levantadas no capítulo 8.

- Sugestão de pontos futuros de pesquisa:

A metodologia "DE adaptada" foi provada para a criação de artefatos técnicos do Tipo A (estáticos: sem grau de variação) com a ferramenta PLM Comos. As dificuldades apareceram para artefatos técnicos com grau de variação mais elevado.

Para melhor lidar com graus de variação elevados, em especial variações multidisciplinares (como no exemplo do Braço de Rotação - Tipo C - com opção de acionamento elétrico ou pneumático) são necessários trabalhos de pesquisa complementares. A sugestão aqui seria a elaboração de uma metodologia orientada a agentes, onde os agentes seriam responsáveis pela adaptação automática dos artefatos técnicos, após a escolha de uma opção (elétrica ou pneumática, como no exemplo do "Braço de Rotação"), evidentemente que dentro de um modelo e especificação das variações pré-definidos. Vale a pena ressaltar que até mais importante que uma metodologia de Engenharia de Domínio orientada a agentes, seriam ferramentas de engenharia que suportem este paradigma.

Uma abordagem para agentes como suporte para a engenharia de plantas industriais, quando mudanças estão presentes, pode ser encontrada em [\[Wagn08\]](#).

REFERÊNCIAS

- [ADH+00] ARDIS, M. et al. Software product lines: a case study. **Software-Practice and Experience**, New York, v. 30, p. 825-847, 2000.
- [Balz01] BALZERT, Helmut. **Lehrbuch der softwaretechnik**. 1.2. ed. Berlin: Elsevier, 2001.
- [BoFa00] BONFE, Marcello; FANTUZZI, Cezare. Mechatronic objects encapsulation in IEC 1131-3 norm. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL APPLICATIONS, 2., 2000, Anchorage. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2000.
- [BoFa05] BONFE, Marcello; FANTUZZI, Cezare. **Application of object-oriented modeling tools to design the logic control system of a packing machine**. 2005, Disponível em:
<http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?anumber=141417411&tag=1>.
Acesso em: 10 jan. 2010.
- [Chir07] CHIRON, Fabien; KOUISS, Khalid. Design of IEC 61131-3 Function Blocks using SysML. In: MEDITERRAN CONFERENCE ON CONTROL & AUTOMATION, 15., 2007, Athens. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2007.
- [Como06] **Comos manual:** (ale. Handbuch). Schwelm, Alemanha, Innotec GmbH, Eisenwerkstraße 1. 2006
- [Dubi04] DUBININ, V.; VYATKIN, V. UML-FB: a language for modelling and implementation of industrial process measurement and control system on the basis of IEC 61499 standard. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY: New Information Technologies and Systems (NTIS'04), 6., 2004. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2004.

- [Eber09] EBERSPAECHEER, Philipp. **Konzeption und realisierung der software für die ansteuerung eines modularen produktionssystems**. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2009. Trabalho de estudo (Studienarbeit SA 2315),
- [Fons08] FONSECA, M. O. et al. **Aplicando a norma IEC 61131 na automação de processos**. Belo Horizonte: [s.n.], 2008.
- [Fritz09] FRITZ, Florian. **Konzept und entwicklung einer visualisierung für die MPS-Anlage**. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2009. Trabalho de estudo (Studienarbeit SA 2274).
- [Göhn09(a)] GOEHNER, P. **Softwaretechnik I (Vorlesungsskripte)**. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2009.
- [Göhn09(b)] GOEHNER, P. **Prozessautomatisierung 1 (Vorlesungsskripte)**. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2009.
- [Göhn09(c)] GOEHNER, P. **Softwaretechnik II (Vorlesungsskripte)**. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2009.
- [Heve05] HEVERHAGEN, Torsten; TRACHT, Rudolf; HIRSCHFELD, Robert. **A profile for integrating function blocks into the unified modeling language**. Essen: University of Duisburg-Essen, Automation and Control, 2005.
- [Kasp05] KASPER, Roland; et al. **Object-oriented behavioral modeling of mechatronic systems**. Magdeburg: Otto-Von-Guericke-Universität: Institute of Machine and Drive Technology, 2005.

- [KCH+90] KANG, K. et al. Feature oriented domain analysis (FODA): feasibility study. **Technical Report:** software engineering, [s.l.], 1990.
- [LaGö99] LAUBER, R.; GOEHNER, P. **Prozessautomatisierung 1.** 3. ed. Berlin: Heidelberg; New York: Springer, 1999.
- [Lepp09] LEPPERT, Martin. **Evaluierung eines konzepts zur identifizierung wiederverwendbarer elemente in einer automatisierungstechnischen domäne.** Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2009. Trabalho de estudo (Studienarbeit SA 2276).
- [Löwe09] LOEWEN, Ulrich. **Ringvorlesung:** verfahren in der softwaretechnik „industrielle automatisierung der zukunft“. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2009. p. 32.
- [Maga08] MAGA, Camelia. **A domain engineering approach for industrial solutions.** Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2008.
- [Maga09(a)] MAGA, Camelia. **Domain-engineering for industrial solutions (DEIS):** a case-study of deployment for the domain "Elevators". Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2009.
- [Maga09(b)] MAGA, Camelia; et al. Domain engineering: mehr systematik im industriellen lösungsgeschäft. In: AUTOMATION KONGRESS, 2009, Baden-Baden, Germany. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2009.

- [Maga09(c)] MAGA, Camelia. **Konzept eines domain engineering, eines domain repository und eines application engineering für automatisierungssysteme:** forschungszwischenbericht. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2009.
- [Maga09(d)] MAGA, Camelia. Concept of a domain repository for industrial automation. In: KONFERENZ DE@CAiSE, 2009, Amsterdam. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2009.
- [Ming05] MING, X. G. et al. **Technology solutions for collaborative product lifecycle management:** status review and future trend school of mechanical and power engineering. Singapore: Shanghai Jiao Tong University and Institute of Design Technology, Department of Mechanical Engineering National University of Singapore, 2005.
- [MPSK99] **Modular Produktion System (MPS) katalog 1:** festo didatik. Esslingen: [s.n.], 1999.
- [Mroz01] MROZEK, Zbigniew. UML as integration tool for designing of the mechatronic system. In: WORKSHOP ON ROBOT MOTION AND CONTROL, 2., 2001, Bukowy Dworek, Poland. **Proceedings...** New York: IEEE, 2001.
- [Nale09] NALEPA, Stefan. **Modularisierungskonzept zur mechatronischen modellierung fertigungstechnischer anlagen in comos mechatronic.** Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2009. Trabalho de Diplomação (Diplomarbeit DA 2254).
- [PBL05] POHL, K.; BOECKLE, G.; VAN DER LINDEN, F. **Software product line engineering:** foundations, principles and techniques. [S.l.]: Springer, 2005.

- [PeDa96] PEREIRA, C.; DARSCHT, P. Modelling computer-based real-time systems: which views do we need? In: IFAC/IFIP WORKSHOP ON REAL TIME PROGRAMMING, 21., 1996, Gramado, RS. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1996. p.109-114.
- [PeKi93] PEREIRA, C.; KIESS, J. On using abstraction mechanisms within the object-model. In: WORKSHOP UNDERSTANDING OBJECT CONCEPTS (OOPSLA), 19., 1993, Washington, DC, USA. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1993.
- [Roth10] ROTHENBURGER, Stephan. **Modellierung und simulation des technischen prozesses eines modularen produktionssystems**. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2010. Estudo de trabalho (Studienarbeit SA 2300).
- [Schm04] SCHMIDTMANN, Uwe et al. **Inkrementelle entwicklung von produktionsanlagen über gekapselte mechatronik-objekte**. Emden: Institut der Informatik für Automatisierungstechnik und Robotik (IAR)FH OOW, 2004.
- [Schm05] SCHMIDTMANN, Uwe et al. **Semantic-web-technologie für die ganzheitliche semantische beschreibung von mechatronikobjekten**. Emden: Institut der Informatik für Automatisierungstechnik und Robotik (IAR)FH OOW, 2005.
- [Skyp97] SZYPERSKI, C. **Component software: beyond object oriented programming**. Bonn: Addison-Wesley, 1997.
- [Stau08] STAUBUS, Christian L. **Product lifecycle management: the tool necessary for the next generation of power plants**. Houston: [s.n.], 2008.

- [Tege09] TETZNER, Thilo; GEWALD, Nobert. Mechanotrisches konzept im engineering vom industrienanlage. In: BERLIN-AACHNER SYMPOSIUM, 6., 2009, Berlin. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2009.
- [Thra01] THRAMBOULIDIS, C. **Using UML for the development of distributed industrial process measurement and control systems**. In: IEEE CONFERENCE ON CONTROL APPLICATIONS (CCA), 2001, Mexico. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2001.
- [Zeid07] ZEIDLER, C. **The art of automation system engineering**. 2007. Disponível em: <<http://www.atp-online.de>>. Acesso em: 10 jan. 2010.
- [ZVEI06] ZENTRALVERBAND ELEKTROTECHNIK UND ELEKTROINDUSTRIE e.V. (ZVEI). **Integrierte Technologie- Roadmap Automation 2015+**. Frankfurt: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), 2006.
- [Wagn08] WAGNER, T. **Agentenunterstütztes engineering von automatisierungsanlagen**. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, 2008.
- [wwwPLCo] **PLCopen for efficiency in automation**. Disponível em: <http://www.plcopen.org/pages/tc3_certification/reusability_level/>. Acesso em: 10 jan. 2010.
- [wwwComo] COMOS INTERNATIONAL. Disponível em: <<http://www.comos.de/>>. Acesso em: 10 jan. 2010.
- [IEC6113] INTERNATIONAL ELETROTECHNICAL COMISSION. **61131-3: programming languages**. Geneva, 2003.

- [ISA95] INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. **95.00.01-2000:** functional hierarchy: enterprise-control system integration part 1: models and terminology. Carolina do Norte, 1995.
- [ISO1592] INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **15926:** industrial automation systems and integration / integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities. Geneva, 2009.
- [OMGSys] OBJECT MANAGEMENT GROUP. Systems modeling language (OMG SysML™). Version 1.1. [S.l.: s.n., s.d.].
- [VDI2206] VEREIN DEUTSCHER INGENIEUR. **VDI richtlinie 2206:** entwicklungsmethodik für mechatronische systeme. Duesseldorf, 2004.

ANEXO I: DESIGN DO DOMÍNIO (DE)

DE1		DE2		DE4							
Critérios	Abstração	Artefatos técnicos reutilizáveis	Tipo	Disciplinas	DESIGN DO DOMÍNIO DE5 (Modelo)		REALIZAÇÃO DO DOMÍNIO (DR1)				
				Software de CLP		Sw CLP	Hw CLP	Mecânica		Pneumática	Elétrica
				Comos Logical				3D Solidworks		Comos	
				Classe de controle	Módulo de controle			Classe Mec.	Objeto Mec.	Pneum. Plan - DB - Obj	E/A - Alim. - DB
1	Komplette Option 1	MPS SPS Zusammen geliefert		S M E P E							PFSS 001 Einsp (220/24) PFSS 100 Eingänge Verteilen PFSS 200 Eingänge Prüfen PFSS 300 Eingänge Bearbeitung PFSS 400 Eingänge Lager
1,2	Station Modul1	Verteilstation Magazin	b	S M E P M	FB Verteilen	PFFA.110 Verteilen		Verteilen Magazin	CAD.100 CAD.101	PFSF.001 Verteilen	PFSS 101 und 102 E/A Vert
1,3	Modul2 Sub-modul L1.1 Option 1 Option 2	Umsetzer Schwenkantrieb (Rotationsarm) Elektrik Pneumatisch	c c	S M M E P	FB_Zyl2	PFFA.111 Umsetzer		Umsetzer	CAD.102		PFSS.002 und 102 / PDA.105
2,2,3	Sub-modul L1.2 Sub-modul L1 Option 1 Option 2	Werkstückgreifer (Saugnapf) Vorhandensein Sensor Mikroschalter Kapazitive	a c	S M E P E	FB_Vakuum	PFFA.113 Vakuum		Werkstückgreifer	CAD.104	M1 pneum. Schw. / PDA.103 V1 Vakuumgreifer	PDA.101 Mikroschalter PDA.102 Kapazitive
1,2	Modul3	Ausschiebzylinder	a	S M E P	FB_Zyl1	PFFA.112 Ausschieb.		Ausschiebzylinder	CAD.105	A1 Ausschiebzyl. / PDA.104	
1,2,3	Station Modul1 Sub-modul L1 Option 1 Option 2	Prüfstation Typprüfung Vorhandensein Sensor Mikroschalter Kapazitive	c c	S M E P S	FB_Pruefen FB_Typprüfung	PFFA.220 Pruef PFFA.221 Typpruef		Prüfen	CAD.200	PFSF.002 Pruefen	PFSS.201 und 202 E/A Pruf PDA.101 Mikroschalter PDA.102 Kapazitive
1,1,2	Modul2 Modul3 Modul4 Modul5	Höhenmessungsmodul Rutsche 180 Hebenmodul Auswurfzylinder	a b a a	S M E M S M E P S M P	FB_Hoehenmessung FB_Zyl2 FB_Zyl1	PFFA.222 Hoehen PFFA.224 Heben PFFA.225 Auswurf		Höhenmessung Rutsche Hebenmodul Ausschiebzylinder	CAD.201 CAD.202 (180) CAD.203 CAD.204	2Z1 Hebe 2Z2 Auswerf. / PDA.004	
1	Modul6	Förderband	a	S M E	FB_Transport - FB_Band	PFFA.226 FB_Band		Förderband	CAD.205		PFSS.2000 Einsp / PDA.200
1,1,1	Station Modul1 Modul2 Modul3	Bearbeitungsstation Drehtisch Bohren Bohrlochprüfung	a a a	S E P S M E S M E	FB_Bearbeitung FB Drehtisch FB Bohrmaschine FB Bohrlochprüfung	PFFA.330 PFFA.331 PFFA.332 PFFA.333		Drehtisch Bohren Bohrlochprüfung	CAD.301 CAD.302 CAD.303	PFSF.003 Bearbeit.	PFSS.301 und 302 E/A Bea. PFSS.3000 Einsp. Bohr und Prüf 3Z1 3Z2 und 3Z3
1,1,2	Station Modul1 Modul2	Lagerstation 3 Magazine Pontalkran	b a	S E P M S M E	FB_Lagerstation FB Portalkran	PFFA.440 FBs Portalkran		Magazin Portalkran	CAD.401 CAD.402	PFSF.004 Lager	PFSS.401 und 402 E/A Lag. PFSS:4000 Einsp./ PDA.400
2	Sub-modul L1 Sub-modul L1	Werkstückgreifer (Saugnapf) Kranzylinder	a a	S M E P S	FB_Vakuum FB_Kranzylinder	PFFA.442 PFFA.443		Werkstückgreifer	CAD.104	V4 Vakummgreifer	
1,2	Modul3	Rutsche 400	b	M				Rutsche	CAD.403 (400)		

Outras abordagens para modelagem

SW CLP

Critérios
(1) Venda/Final
(2) Repetição
(3) Variação

Classificação quanto ao Tipo	
Estático: Nenhuma modificação	a
Configuráveis e Parametrizáveis	b
Genéricos: Alto grau de variação	c

Foi desconsiderado durante a concepção deste trabalho

DB - Folha de dados
E/A - Ent. Sai. CLP
Obj - Objeto no Plano Pneum.

Realização considerando o modelo de variações