

**Tatiana Almeida Souza
Coelho Vieira**

**Execução Flexível de
Workflows**

TESE DE DOUTORADO

**DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
Programa de Pós-graduação em
Informática**

Rio de Janeiro
Agosto de 2005



Tatiana Almeida Souza Coelho Vieira

Execução Flexível de Workflows

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Informática

Orientador: Prof. Marco Antonio Casanova

Rio de Janeiro
Agosto de 2005



Tatiana Almeida Souza Coelho Vieira

Execução Flexível de Workflows

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Informática aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Marco Antonio Casanova

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Carlos José Pereira de Lucena

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Markus Endler

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Simone Diniz Junqueira Barbosa

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Claudia Maria Bauzer Medeiros

Instituto de Computação — Unicamp

Prof. Vânia Maria Ponte Vidal

Departamento de Computação — UFC

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 11 de Agosto de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Tatiana Almeida Souza Coelho Vieira

Graduou-se no ano de 1999 em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Obteve o título de mestre no ano de 2001 em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Ficha Catalográfica

Vieira, Tatiana Almeida Souza Coelho

Execução Flexível de Workflows/ Tatiana Almeida Souza Coelho Vieira; orientador: Marco Antonio Casanova. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2005.

v., 429 f: il. ; 29,7 cm

1. Tese (doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Workflow. 3. Flexibilização. 4. Ontologia. 5. Distribuição. I. Casanova, Marco Antonio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Ao Robson, meu grande amor, aos meus pais e meus irmãos e à Luna, sobrinha e afilhada, com carinho. À minha avó, Maria José, com muita saudade.

Agradecimentos

...Muitos foram aqueles que, talvez até sem saber, me ajudaram. A todos, meus agradecimentos, mesmo àqueles que não foram aqui mencionados.

Um agradecimento muito especial e carinhoso ao Prof. Casanova, que sempre me ajudou como orientador e amigo, na tese e em decisões difíceis, contribuindo para meu crescimento pessoal, humano, intelectual.

Ao meu marido, Robson, que sempre me incentivou e apostou em minha capacidade.

Aos meus pais que estavam sempre perto, torcendo e acreditando, mesmo quando os caminhos pareciam tortuosos demais. Aos meus irmãos, parentes, cunhadas e sogros, que também torceram por mim...sempre.

Aos meus amigos de graduação, quase irmãos, Karina, Cássio, Alessandro, Luciano e Tiago, que sempre me ajudaram a ir em frente.

Aos amigos do mestrado, Denise, Chrystian, Álisson, Gustavo, Karine Versieux e Irna, que vibraram comigo a cada vitória conquistada.

Ao Lamarque, colega que desde o mestrado me ajuda pelos caminhos, às vezes obscuros, do mundo do LaTeX.

Aos colegas de doutorado, pelos trabalhos que realizamos juntos, pelos momentos em que compartilhamos idéias. Em especial, ao amigo Matriciano.

Aos colegas da PUC, pelo incentivo, e em especial ao Leonardo Barros.

Aos professores com os quais cursei disciplinas, pelo muito que me ensinaram, em especial à Profa. Simone e ao Prof. Markus Endler, que me ajudaram mais de perto no trabalho para o exame de qualificação.

Ao pessoal do suporte de Informática desse Departamento, que por *diversas* vezes me atenderam prontamente, em especial à Luciana, ao Anderson e ao amigo José Carlos.

Ao pessoal da secretaria e da biblioteca do Departamento de Informática da PUC, em especial à Isabela, à Débora, sempre tão prestativa, à Ruth, à Emanuelle e à Rosane.

Ao Seu Luiz e à Dona Carmem, responsáveis pela limpeza do Departamento.

Ao pessoal das listas de discussão do Jena (Jena-dev) (<http://groups.yahoo.com/group/jena-dev/>), da OWL-S API (Mindswap) (<http://lists.mindswap.org/pipermail/owl-s/>) e, sobretudo, ao pessoal da lista de discussão de Web semântica do W3C, mantida pelo *Semantic Web Services Interest Group*. A todos, o meu agradecimento pelas dúvidas resolvidas.

Ao CNPq, pela bolsa concedida para o doutorado.

Resumo

Vieira, Tatiana Almeida Souza Coelho; Casanova, Marco Antonio. **Execução Flexível de Workflows**. Rio de Janeiro, 2005. 429p. Tese de Doutorado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Sistemas de gerência de workflow geralmente interpretam rigidamente a definição um workflow, não permitindo qualquer tipo de desvio durante a execução. No entanto, existem situações reais em que usuários devem poder desviar do fluxo pré-definido por diversas razões, incluindo falta de informação do valor de um parâmetro e indisponibilidade de recursos necessários à execução. Para alcançar execução flexível, esta tese propõe um mecanismo de tratamento de exceções, voltado para flexibilização, que permite a continuação da execução de uma instância quando antes ela deveria ser momentaneamente interrompida. A proposta concretiza-se como um conjunto de extensões a OWL-S, a linguagem adotada para a definição de workflows, e baseia-se em ontologias de processos e recursos, que oferecem a informação semântica necessária para o funcionamento do mecanismo. A tese apresenta ainda uma semântica operacional para um fragmento de OWL-S e para as extensões propostas, bem como uma arquitetura distribuída para um sistema de gerência de workflows. Em particular, a semântica proporciona uma forma de comportamento transacional para a execução de uma instância de workflow, no sentido de garantir que ou todas as ações da instância terminam corretamente, ou todas são abandonadas.

Palavras-chave

workflow, processo, OWL-S, flexibilização, ontologia, distribuição.

Abstract

Vieira, Tatiana Almeida Souza Coelho; Casanova, Marco Antonio.
Flexible Workflow Execution. Rio de Janeiro, 2005. 429p. PhD.
Thesis — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade
Católica do Rio de Janeiro.

Workflow management systems usually interpret a workflow definition rigidly, allowing no deviations during execution. However, there are real life situations where users should be allowed to deviate from the prescribed static workflow definition for various reasons, including lack of information about parameter values and unavailability of the required resources. To flexibilize workflow execution, this thesis proposes an exception handling mechanism that allows the execution to proceed when otherwise it would have been stopped. The proposal is introduced as a set of extensions to OWL-S, the language adopted to define workflows, and is based on process and resource ontologies that capture the semantic information needed for the flexibilization mechanism. The thesis also defines an operational semantics for a fragment of OWL-S and the proposed extensions, as well as a distributed architecture for a workflow management system. In particular, the semantics define a form of transactional behavior for the execution of a workflow instance, in the sense that it guarantees that either all actions executed by the instance terminate correctly or they are all abandoned.

Keywords

workflow, process, OWL-S, flexibilization, ontology, distribution.

Sumário

1	Introdução	22
1.1	Motivação	22
1.2	Objetivos	23
1.3	Contribuições	25
1.4	Organização da Tese	25
2	Workflows - Conceitos e História	27
2.1	Evolução dos Sistemas de Workflow	27
2.2	Modelos de Workflow Transacionais	28
2.3	Modelo de Referência do WfMC	32
2.4	Questões de Projeto em Sistemas de Workflow	37
2.4.1	Arquitetura	37
2.4.2	Recuperação em Caso de Falhas	38
2.4.3	Disponibilidade de Dados	40
2.4.4	Controle de Concorrência	40
2.5	Modelo de Implementação do WfMC	41
2.6	Limitações dos Sistemas de Workflow	42
2.7	Workflow e Gerência de Processos de Negócio	44
2.8	Resumo	45
3	Trabalhos Relacionados	47
3.1	Estratégias de Flexibilização	47
3.1.1	Preliminares	47
3.1.2	Intercalando Modelagem e Execução	48
3.1.3	Alterações Dinâmicas na Estrutura do Workflow	50
3.1.4	Alterações Dinâmicas no Nível das Instâncias de Processo	53
3.1.5	Estratégias de Relaxamento de Consultas	53
3.1.6	Comparação	55
3.2	Linguagens para Modelagem de Workflows	56
3.2.1	Preliminares	56
3.2.2	WSFL	58
3.2.3	BPEL4WS	58
3.2.4	BPML	60
3.2.5	WSCI	60
3.2.6	WSCL	62
3.2.7	WSMF	62
3.2.8	OWL-S	63
3.2.9	Comparação	64
3.3	OWL-S: Funcionalidades e Semântica	65
3.3.1	Preliminares	65
3.3.2	Comparação	68
3.4	Frameworks e Protocolos para Composição e Coordenação de Serviços	69
3.4.1	Preliminares	69

3.4.2	METEOR-S WSCF	69
3.4.3	WebComposer	71
3.4.4	WebTransact	71
3.4.5	WS-Coordination / WS-Transaction	72
3.4.6	BTP	76
3.4.7	Comparação	77
3.5	<i>Matching</i> Semântico de Serviços	77
3.5.1	TBPM	77
3.5.2	Vispo	79
3.5.3	Comparação	81
3.6	Resumo	82
4	Preliminares: OWL-S e a Linguagem de Regras do Jena	84
4.1	Ontologia de Serviços de OWL-S	84
4.1.1	Estrutura da Ontologia de Serviços	84
4.1.2	<i>ServiceProfile</i>	86
4.1.3	<i>ServiceModel</i>	88
4.1.3.1.	Parâmetros, Resultados e Expressões de um Processo	89
4.1.3.2.	Fluxo de Dados de um Processo	91
4.1.3.3.	Fluxo de Dados de um Processo	92
4.1.4	<i>ServiceGrounding</i>	94
4.1.5	Ontologia de Recursos	95
4.2	Linguagem de Regras do Jena	96
4.3	Resumo	98
5	Introdução aos Mecanismos de Flexibilização	99
5.1	Motivação	99
5.2	Conceitos Preliminares	100
5.2.1	Processos e Instâncias	100
5.2.2	Recursos	102
5.3	Introdução à Flexibilização	103
5.4	Possibilitando a Flexibilização	107
5.5	Resumo	108
6	Uma Ontologia de Processos e Recursos	110
6.1	Metodologias para a Modelagem de Ontologias	110
6.2	Requisitos para uma Ontologia de Processos e Recursos	112
6.3	Estratégias para Definição da Ontologia de Processos e Recursos	115
6.4	Extensões Básicas da Ontologia de Processos e de Recursos de OWL-S	118
6.4.1	Construtor <i>ForAll</i>	118
6.4.2	Classes <i>AbstractResource</i> e <i>ConcreteResource</i> e Propriedades <i>implementedBy</i> e <i>implementationOf</i>	120
6.4.3	Propriedades <i>requires</i> , <i>requiredBy</i> e <i>allocated</i>	121
6.5	Extensões Voltadas para a Flexibilização	123
6.5.1	Propriedades <i>costR</i> e <i>costP</i>	123
6.5.2	Propriedade <i>flexibilize</i>	123
6.5.3	Propriedades para o Tratamento de Exceção	125
6.5.4	Classe <i>Relation_for_value</i>	129

6.5.4.1	Mapeamento de Parâmetros	133
6.5.4.2	Mapeamento de Recursos	134
6.5.4.3	Regras relativas à Classe <i>Relation_for_value</i>	135
6.6	Resumo	145
7	Semântica Operacional de OWL-S e suas Extensões	147
7.1	Definição da Máquina Abstrata para OWL-S	148
7.1.1	Componentes da Máquina Abstrata	148
7.1.2	Execução de uma Instância de Processo na MA	149
7.2	Sintaxe Abstrata e Semântica de Processos Atômicos e de Construtores Básicos de OWL-S	156
7.2.1	Processos Atômicos	156
7.2.2	Sequence	158
7.2.3	Split	161
7.2.4	Split-Join	162
7.2.5	Choice	164
7.2.6	Any-Order	165
7.2.7	If-Then-Else	167
7.3	Redefinição da Máquina Abstrata para OWL-S Estendida	170
7.4	Transições de Estado na Máquina Abstrata Estendida	180
7.5	A Semântica das Extensões Básicas da Ontologia de Processos e de Recursos de OWL-S	190
7.5.1	Construtor <i>ForAll</i>	191
7.5.2	Classes <i>AbstractResource</i> e <i>ConcreteResource</i> e Propriedades <i>implementedBy</i> e <i>implementationOf</i>	192
7.5.3	Propriedades <i>requires</i> , <i>requiredBy</i> e <i>allocated</i>	193
7.6	A Semântica das Extensões Voltadas para a Flexibilização	195
7.6.1	Propriedades <i>costR</i> e <i>costP</i>	195
7.6.2	Propriedade <i>flexibilize</i>	195
7.6.3	Propriedades para o Tratamento de Exceção	196
7.6.4	Classe <i>Relation_for_value</i>	199
7.7	Log de Execução	207
7.8	Teste de Consistência	210
7.9	Exemplos de Execução	212
7.10	Resumo	215
8	Uma Arquitetura Distribuída para Sistemas de Workflow	216
8.1	Introdução à Arquitetura Distribuída	216
8.2	Preliminares: a Linguagem ACME	219
8.2.1	Características principais de ACME	219
8.2.2	Vocabulário de ACME	220
8.2.3	Framework Semântico para Anotação	221
8.2.4	Famílias Arquiteturais em ACME	221
8.2.5	Framework Semântico para a Especificação de Restrições	222
8.3	Definição da Arquitetura	223
8.3.1	Tipos de papéis, conectores e portas	224
8.3.2	Gerente Central	225
8.3.3	Gerente de Ontologias	234
8.3.4	Gerente de Processos	237

8.3.5	Regras de Projeto	239
8.4	Introdução à Execução de uma Instância de Processo no Ambiente Distribuído	243
8.5	Resumo	250
9	Conclusões e Trabalhos Futuros	251
9.1	Conclusões	251
9.2	Trabalhos Futuros	254
	Referências Bibliográficas	272
A	Execução de uma Instância de Processo	273
A.1	Execução de uma Instância de Processo na MAE	273
A.2	Execução de uma Instância de Processo no Ambiente Distribuído	300
B	Ontologias	316
B.1	Ontologia de Processos Estendida	316
B.2	Ontologia de Recursos Estendida	323
B.3	Ontologia <i>pr</i> de Processos e Recursos	325
B.4	Regras Associadas à uma Ontologia de Aplicação <i>app</i>	331
C	Exemplo de Processo	340
C.1	Apresentação do Exemplo	340
C.1.1	O Problema	340
C.1.2	Definição Informal do Processo	342
C.2	Definição do Processo em OWL-S	343
C.2.1	Classes, Propriedades e Instâncias Auxiliares	344
C.2.2	O Processo <i>CoastalAreaOilCleaning</i>	349
C.2.3	O Processo <i>DetermineSpillFeatures</i>	354
C.2.4	O Processo <i>DetermineAffectedAreas</i>	362
C.2.5	O Processo <i>DetermineOilSpilledType</i>	365
C.2.6	O Processo <i>CleanAllAreas</i>	368
C.2.7	O Processo <i>CleanCoastalArea</i>	373
C.3	Modelagem dos Relacionamentos envolvendo Processos e Recursos	378
C.4	Visão Geral da Execução Flexível	384
C.5	A Biblioteca <i>lib</i>	386
C.6	Código do Exemplo de Processo	410

Lista de Figuras

2.1	Conceitos relativos a sistemas de workflow padronizados pelo WfMC [59].	33
2.2	Características básicas dos sistemas de workflow e o relacionamento entre suas principais funções [59].	34
2.3	Distribuição de cada parte de um processo durante a sua execução [59].	35
2.4	Modelo de referência do WfMC [59].	35
2.5	Modelo de implementação de sistemas de gerência de workflow, definido pelo WfMC [59].	42
3.1	Pilha de tecnologias da arquitetura de serviços na Web, segundo o W3C [126].	57
3.2	Exemplo de coordenação envolvendo dois serviços distintos, cada qual com o seu próprio coordenador [20].	73
3.3	Visão geral do funcionamento de WS-Coordination e de WS-Transaction [45].	76
4.1	Ontologia de serviços de OWL-S, versão 1.1 [75].	85
4.2	Classes e propriedades selecionadas de <i>ServiceProfile</i> de OWL-S, versão 1.1 [75].	87
4.3	Ontologia de processos de OWL-S, versão 1.1 [75].	94
4.4	Ontologia de recursos de OWL-S, versão 1.0 [30], gerada pelo plugin ezOWL do Protégé 3.0.	96
5.1	Hierarquia de processos de exemplo.	101
5.2	Hierarquia de processos e instâncias de exemplo.	102
5.3	Hierarquia das exceções definidas.	104
6.1	Representação ilustrativa da composição da ontologia <i>pr</i> .	117
6.2	Representação gráfica informal da classe <i>Relation_for_value</i> e suas propriedades pertencentes à ontologia <i>pr</i> .	129
6.3	Extensões sobre a ontologia de processos de OWL-S.	145
7.1	Máquina abstrata (MA).	148
7.2	Diagrama de transição de estados definido para uma instância <i>P</i> de um processo <i>p</i> (OWL-S não estendido) na MA.	149
7.3	Máquina abstrata estendida (MAE).	171
7.4	Representação simplificada da relação entre P_1 , P_2 e P_3 .	175
7.5	Exemplo de instâncias de processo controladas pela MAE.	176
7.6	Diagrama de transição de estados modificado.	178
7.7	Exemplo de execução apresentado no diagrama de estados da MAE.	183
7.8	Fluxograma que explica a dinâmica do diagrama de estados de uma instância na MAE.	185

7.9	Parte 1 do fluxograma que explica a dinâmica do diagrama de estados de uma instância na MAE.	187
7.10	Parte 2 do fluxograma que explica a dinâmica do diagrama de estados de uma instância na MAE.	189
7.11	Exemplo esquemático para o cálculo de custo da utilização de p_1 ou p_2 para o tratamento da exceção levantada por uma instância de p_0 .	200
7.12	Exemplo esquemático do funcionamento do mecanismo para substituição de processos, prevendo consultas sobre a ontologia de aplicação através da linguagem RDQL (<i>RDF Data Query Language</i>) [106].	207
7.13	Hierarquia de processos de exemplo.	212
7.14	Exemplo de log relativo à primeira situação de execução descrita.	214
8.1	Representação simplificada da arquitetura distribuída proposta.	224
8.2	Representação interna (<i>repmmap</i>) do tipo de componente <i>GerenteCentral (GC)</i> .	225
8.3	Processo de limpeza do banco de dados de instâncias.	230
8.4	Representação interna (<i>repmmap</i>) do tipo de componente <i>GerenteOntologias (GO)</i> .	234
8.5	Representação interna (<i>repmmap</i>) do tipo de componente <i>GerenteProcessos (GP)</i> .	238
8.6	Diagrama de seqüência relativo à delegação de um processo.	246
C.1	Representação da estrutura do processo p .	342
C.2	Hierarquia de instâncias formada a partir de P .	343
C.3	Representação gráfica do processo <i>CoastalAreaOilCleaning</i> descrito na seção anterior, obtida a partir do plugin do Protégé 3.0 chamado OWL-S Editor.	353

Lista de Tabelas

3.1	Comparação entre as linguagens de composição de serviços descritas.	66
6.1	Valor que deve ser assumido pelas propriedades <i>pr:aRelates</i> e <i>pr:bRelates</i> em <i>pr:Relation_for_value</i> .	134
7.1	Resumo dos valores de uma instância que podem ser assumidos para <i>pointer_original_p</i> , <i>pointer_flex_p</i> e <i>abstract_p</i> , conforme o valor de <i>instanceType</i> .	174
C.1	Impacto ambiental dos procedimentos de limpeza de áreas costeiras afetadas por vazamento de óleo.	341

Lista de Quadros

1	Sintaxe das regras em Jena	98
2	Abreviações para os <i>namespaces</i> utilizados.	116
3	Construtor <i>FORALL</i> e suas propriedades pertencentes ao <i>namespace p-ext</i> .	120
4	Classes <i>AbstractResource</i> e <i>ConcreteResource</i> e propriedades relacionadas, pertencentes ao <i>namespace r-ext</i> .	121
5	Propriedades <i>requires</i> e <i>requiredBy</i> , pertencentes ao <i>namespace pr</i> , e propriedade <i>allocated</i> , do <i>namespace r-ext</i> .	122
6	Propriedades <i>costR</i> e <i>costP</i> , pertencentes, respectivamente, aos <i>namespace r-ext</i> e <i>namespace p-ext</i> .	123
7	Propriedade <i>flexibilize</i> pertencente ao <i>namespace p-ext</i> .	125
8	Propriedades <i>beginTimeout</i> e <i>endTimeout</i> pertencentes ao <i>namespace p-ext</i> .	126
9	Propriedades <i>beginTimeoutTreatedBy</i> e <i>endTimeoutTreatedBy</i> pertencentes ao <i>namespace p-ext</i> .	127
10	Propriedade <i>processUndo</i> pertencente ao <i>namespace p-ext</i> .	128
11	Propriedade <i>defaultParameterValue</i> pertencente ao <i>namespace p-ext</i> .	128
12	Regra <i>relation-for-value-expandsToRule</i> .	135
13	Regra <i>relation-for-value-expandsTo-converseRule</i> .	136
14	Regra <i>relation-for-value-expandsToParameterRule</i> .	136
15	Regra <i>relation-for-value-expandsToResourceRule</i> .	137
16	Regras <i>relation-for-value-realizedByRule</i> e <i>relation-for-value-realizedBy-converseRule</i> .	137
17	Regra <i>relation-for-value-realizedByParameterRule</i> .	138
18	Regra <i>relation-for-value-realizedByResourceRule</i> .	138

19	Regras <i>relation-for-value-beginTimeoutTreatedByRule</i> , <i>relation-for-value-beginTimeoutTreatedBy-converseRule</i> , <i>relation-for-value-endTimeoutTreatedByRule</i> e <i>relation-for-value-endTimeoutTreatedBy-converseRule</i> .	139
20	Regras <i>relation-for-value-beginTimeoutTreatedByParameterRule</i> e <i>relation-for-value-endTimeoutTreatedByParameterRule</i> .	140
21	Regras <i>relation-for-value-processUndoRule</i> e <i>relation-for-value-processUndo-converseRule</i> .	141
22	Regra <i>relation-for-value-requiresRule</i> .	141
23	Regra <i>relation-for-value-requires-converseRule</i> .	141
24	Regras <i>relation-for-value-processprocessRule1</i> , <i>relation-for-value-processProcessRule2</i> e <i>relation-for-value-processprocessRule3</i> .	143
25	Regra <i>relation-for-value-resourceResourceRule1</i> .	143
26	Regra <i>relation-for-value-resourceResourceRule2</i> .	144
27	Regras <i>relation-for-value-implementedByRule</i> e <i>relation-for-value-implementedBy-converseRule</i> .	144
28	Trigger <i>InstanceInit["T"](p)</i> .	151
29	Mensagens recebidas dos <i>triggers</i> e processadas pelo <i>Controlador</i> da MA.	153
30	<i>Triggers</i> que controla a terminação de instâncias na MA.	154
31	<i>Triggers</i> para processo atômico e instância de processo atômico.	158
32	<i>Triggers</i> que definem o comportamento do construtor <i>SEQUENCE</i> .	160
33	<i>Triggers</i> que definem o comportamento do construtor <i>SPLIT</i> .	162
34	<i>Triggers</i> que definem o comportamento do construtor <i>SPLIT-JOIN</i> .	164
35	<i>Triggers</i> que definem o comportamento do construtor <i>CHOICE</i> .	165
36	<i>Triggers</i> que definem o comportamento do construtor <i>ANY-ORDER</i> .	167
37	<i>Triggers</i> que definem o comportamento do construtor <i>IF-THEN-ELSE</i> .	170

38	<i>Triggers</i> que definem o comportamento do construtor <i>FORALL</i> .	192
39	Utilização da classe <i>pr:Relation_for_value</i> pelo mecanismo de tratamento de exceção.	206
40	Descrição em ACME dos tipos de papel, porta e conector.	225
41	Descrição em ACME do tipo de componente <i>GerenteCentral</i> .	226
42	Mensagem <i>registerComponent</i> processada pelo <i>SGC</i> .	228
43	Mensagem <i>findParametersValue</i> processada pelo <i>SIG</i> .	232
44	Mensagem <i>findParametersValue</i> processada pelo <i>Controlador</i> .	233
45	Mensagem <i>parametersValueFound</i> processada pelo <i>gerente central</i> .	233
46	Mensagem <i>parametersValueFound</i> processada pelo <i>Controlador</i> .	233
47	Descrição em ACME do tipo de componente <i>GerenteOntologias</i> .	235
48	Descrição em ACME do tipo de componente <i>GerenteProcessos</i> .	239
49	Regra R_1 .	239
50	Regra R_2 .	240
51	Regra R_3 .	240
52	Regra R_4 .	240
53	Regra R_5 .	241
54	Regra R_6 .	241
55	Regra R_7 .	241
56	Regra R_8 .	242
57	Padrões de conexão definidos para a família <i>FamiliaExecucaoProcessos</i> .	242
58	Mensagem <i>findActiveProcessManagers</i> processada pelo <i>SGC</i> .	243
59	Mensagem <i>activeProcessManagersListFound</i> processada pelo <i>Controlador</i> .	244

60 Mensagens <i>runProcess</i> e <i>initiateProcess</i> processadas pelo <i>Controlador</i> .	245
61 Mensagem <i>insertAndUpdateRecords</i> processada pelo <i>SGI</i> .	248
62 Mensagem <i>updateSubInstances</i> processada pelo <i>Controlador</i> .	249
63 Mensagem <i>updateStateInRecord</i> processada pelo <i>SGI</i> .	249
64 Mensagem <i>updateRecordDueToResourcesFlexibilization</i> processada pelo <i>SGI</i> .	249
65 Mensagens <i>initiate</i> , <i>complete</i> , <i>doComplete</i> , <i>abort</i> , <i>skip</i> , <i>undo</i> e <i>doAbort</i> .	275
66 Mensagens <i>allocateResources</i> e <i>releaseResources</i> .	276
67 Mensagem <i>findConcreteProcess</i> .	277
68 Mensagens <i>concreteProcessListFound</i> e <i>concreteProcessListNotFound</i> .	278
69 Mensagem <i>concreteProcessChosen</i> .	279
70 Mensagem <i>findConcreteResources</i> .	280
71 Mensagens <i>concreteResourcesListFound</i> e <i>concreteResourcesListNotFound</i> .	281
72 Mensagem <i>concreteResourcesChosen</i> .	282
73 Mensagem <i>forgetInstances</i> .	282
74 Mensagem <i>findUndoProcess</i> .	283
75 Mensagens <i>undoProcessListFound</i> e <i>undoProcessListNotFound</i> .	284
76 Mensagem <i>undoProcessChosen</i> .	284
77 <i>Triggers</i> que controlam a terminação de instâncias a partir do estado <i>PreparedToAbort</i> .	286
78 <i>Triggers</i> necessários para acomodar as extensões propostas para a flexibilização temporal.	288
79 Mensagens <i>beginTimeoutReached</i> e <i>endTimeoutReached</i> .	288
80 Mensagens <i>findProcessToTreatBeginException</i> .	289

81	Mensagem <i>findProcessToTreatEndException</i> .	290
82	Mensagens <i>exceptionTreatmentProcessListFound</i> e <i>exceptionTreatmentProcessListNotFound</i> .	291
83	Mensagem <i>expctionTreatmentProcessChosen</i> .	292
84	Mensagem <i>findDefaultParametersValue</i> .	292
85	Mensagem <i>findSubstituteResources</i> .	293
86	Mensagens <i>defaultParametersValueFound</i> e <i>defaultParametersValueNotFound</i> .	294
87	Mensagens <i>force</i> e <i>instancePreparedToByPass</i> .	295
88	Mensagem <i>findSubstituteProcess</i> .	297
89	Mensagens <i>substituteProcessListFound</i> e <i>substituteProcessListNotFound</i> .	298
90	Mensagem <i>substituteProcessChosen</i> .	298
91	Mensagens <i>substituteResourcesListFound</i> e <i>substituteResourcesListNotFound</i> .	299
92	Mensagem <i>substituteResourcesChosen</i> .	300
93	Mensagens <i>initiate</i> , <i>complete</i> , <i>force</i> , <i>doComplete</i> , <i>abort</i> , <i>skip</i> , <i>undo</i> e <i>doAbort</i> modificadas para o ambiente distribuído.	303
94	Mensagens <i>forgetInstances</i> , <i>abortInstance</i> e <i>skipInstance</i> processada pelo <i>Controlador</i> .	304
95	<i>Triggers</i> que controlam a terminação de instâncias a partir do estado <i>PreparedToAbort</i> , modificados para o ambiente distribuído.	306
96	<i>Triggers</i> relativos aos construtores <i>SEQUENCE</i> e <i>SPLIT</i> , modificados para o ambiente distribuído.	309
97	Cabeçalho das mensagens cujo processamento é idêntico ao processamento na MAE.	311
98	Mensagens <i>concreteProcessListFound</i> e <i>concreteProcessListNotFound</i> .	312

99	Mensagens	<i>concreteResourcesListFound</i>	e	
		<i>concreteResourcesListNotFound.</i>		313
100	Mensagem	<i>undoProcessListFound.</i>		313
101	Mensagens	<i>beginTimeoutReached</i> e <i>endTimeoutReached.</i>		313
102	Mensagem	<i>exceptionTreatmentProcessListFound.</i>		314
103	Mensagens	<i>defaultParametersValueFound</i>	e	
		<i>defaultParametersValueNotFound.</i>		314
104	Mensagem	<i>substituteProcessListFound</i>	e	
		<i>substituteProcessListNotFound.</i>		315
105	Mensagem	<i>substituteResourcesListFound.</i>		315
106	Ontologia de processos	estendida.		322
107	Ontologia de recursos	estendida.		324
108	Ontologia <i>pr</i> de processos e recursos.			330
109	Regras associadas à ontologia de aplicação	<i>app.</i>		339
110	Classe	<i>FailureNotification.</i>		344
111	Classe	<i>CoastalArea</i> e suas propriedades.		347
112	Classe	<i>KnownAffectedAreaList.</i>		347
113	Classes	<i>OilType</i> , <i>KnownOilType</i> e <i>UnknownOilType.</i>		348
114	Composição do processo	<i>CoastalAreaOilCleaning.</i>		350
115	Condição	<i>DetermineSpillFeaturesPositiveCondition.</i>		351
116	Definição de	<i>CAOCOutputType.</i>		352
117	Composição do processo	<i>DetermineSpillFeatures.</i>		354
118	Parâmetros de saída do processo	<i>DetermineSpillFeatures.</i>		355
119	Resultados negativos do processo	<i>DetermineSpillFeatures.</i>		360
120	Resultado	<i>DetermineSpillFeaturesPositiveResult</i> do processo		
		<i>DetermineSpillFeatures.</i>		361

121	Resultado <i>DetermineSpillFeaturesResultOutput</i> do processo <i>DetermineSpillFeatures</i> .	362
122	Resultados do processo <i>DetermineAffectedAreas</i> .	365
123	Resultados do processo <i>DetermineOilSpilled</i> .	368
124	Parâmetros de entradas e saída do processo <i>CleanAllAreas</i> .	369
125	Composição do processo <i>CleanAllAreas</i> .	370
126	Resultados do processo <i>CleanAllAreas</i> .	373
127	Parâmetros de entrada e saída do processo <i>CleanCoastalArea</i> .	373
128	Relacionamentos entre o processo simples <i>CleanCoastalArea</i> e seus processos concretos.	374
129	Resultados do processo <i>CleanCoastalArea</i> .	378
130	Instâncias de <i>pr:Relation_for_value</i> que relacionam um processo abstrato com seus processos concretos.	379
131	Tipos de recursos definidos na biblioteca <i>lib</i> .	381
132	Instâncias de <i>pr:Relation_for_value</i> que determinam o relacionamento entre o processo <i>ND</i> e seus recursos.	382
133	Regra <i>oilTypeI-resourcesRule</i> .	383
134	Biblioteca <i>lib</i> construída.	409
135	Processo <i>CoastalAreaOilCleaning</i> .	429