

004
FIB Dia
T/M



**Diagnóstico das Propriedades de Consistência
Temporal em DMI's: uma abordagem baseada na TDF
RT-LOTOS**

UNIVERSIDADE DA MADEIRA
SECTOR DE DOCUMENTAÇÃO
E ARQUIVO

Paulo da Silva Figueira

(Licenciado)

*Tese Submetida à Universidade da Madeira para a
Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Informática*

Funchal - Portugal

Setembro 2007

Orientador:

Professor Doutor Paulo Nazareno Maia Sampaio

Professor Auxiliar do Departamento de Matemática e Engenharias

Universidade da Madeira

ABSTRACT

The Interactive Multimedia Documents (IMD) is in our days the richest form of communication, such is obtained by the agglomerating of some media (text, image, video, sound, etc.) in only one message. However, the flexibility of some multimedia authoring models leads the authors to describe inconsistent documents, due the existing level of concurrency and interaction among components of the document witch is difficult to be managed and controlled.

The consistency checking of IMD's represents an investigation area, particularly related to the collaborative authoring of multimedia documents. Much has been done for the authoring of IMD's, however, there are only a few methods that support the verification of IMD's, such as those presented in [Layaida and Sabry-Ismail, 1996] and [Ma and Shin, 2000].

In this dissertation we aim at exploring the potentialities of the Formal Description Technique RT-LOTOS, [Courtiat et al., 2000] (an extension to the formal specification language LOTOS [ISO-8807] for the modeling and simulation of real-time systems), and its set of tools RTL (*RT-LOTOS Laboratory*, developed at LAAS-CNRS [Courtiat et al., 2000]), for the verification, analysis and diagnosis of IMD's temporal consistencies properties.

The main contributions of this work are (i) the proposal of a time intervals identification algorithm to treat all the events of a document which occur in a presentation path (of a reachability graph generated from the RT-LOTOS specification); (ii) the definition of steps for the identification of the inconsistent presentation paths and their potential solutions in order to elaborate a diagnosis to support the authoring process, and; (iii) the implementation of a prototype tool for the verification, analysis and diagnosis of temporal consistencies properties, based on RT-LOTOS specification witch represents the IMD's logical and temporal behavior.

KEYWORDS

Temporal Consistency

RT-LOTOS

Minimal Reachability Graph

Formal Specification and Verification

Multimedia

Interactive Multimedia Documents

Temporal Synchronization

Timed Automata

Time Labeled Scheduling Automata

KEYWORDS

Temporal Consistency

RT-LOTOS

Minimal Reachability Graph

Formal Specification and Verification

Multimedia

Interactive Multimedia Documents

Temporal Synchronization

Timed Automata

Time Labeled Scheduling Automata

RESUMO

Os Documentos Multimédia Interactivos (DMI) surgem nos nossos dias como a forma mais rica de comunicação, tal é conseguido pelo aglomerar de vários meios de comunicação (texto, imagem, vídeo, som, etc.) numa só mensagem. No entanto, a flexibilidade de alguns modelos de autoria levam os autores a descreverem documentos com comportamentos incoerentes, uma vez que o nível da concorrência e as interacções existentes entre componentes do documento serem difíceis de gerir e controlar.

A verificação da consistência de DMI's constitui uma área em investigação, especialmente na área da autoria colaborativa de cenários multimédia [Courtiat et al., 1996]. Muito foi realizado para a autoria de documentos multimédia, no entanto, existem apenas poucos métodos de autoria que suportam a verificação de DMI's, tais como os descritos em [Layaida and Sabry-Ismail, 1996] e [Ma and Shin, 2000].

Nesta dissertação procuramos explorar as potencialidades da Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS, [Courtiat et al., 2000] (uma extensão da linguagem de especificação formal LOTOS [ISO-8807] para a modelação e simulação de sistemas em tempo-real), e o seu conjunto de ferramentas RTL (*RT-LOTOS Laboratory*, desenvolvido pela LAAS-CNRS [Courtiat et al., 2000]), para a verificação, análise e diagnóstico das propriedades de consistência temporal de um DMI.

As principais contribuições deste trabalho são: (i) A proposta de um algoritmo de identificação dos intervalos de tempo em que poderão ocorrer os eventos num percurso de uma apresentação (baseado no grafo mínimo de alcançabilidade), (ii) A definição de um conjunto de passos para a identificação dos percursos inconsistentes da apresentação, as suas causas e potenciais soluções (controlabilidade), de forma a elaborar um diagnóstico de suporte ao autor durante o seu processo de autoria, e; (ii) A implementação de um protótipo de uma ferramenta de verificação, análise e diagnóstico das propriedades de consistência temporal, que tem como base de trabalho uma especificação RT-LOTOS que representa o comportamento do DMI.

PALAVRAS-CHAVE

Consistência Temporal

RT-LOTOS

Grafo mínimo de alcançabilidade

Especificação e Verificação Formal

Multimédia

Documentos Multimédia Interactivos

Sincronização temporal

Autómato temporal

Verificação da Consistência Temporal de DMI

Sincronização

Aos meus Pais e Irmãs,
Em especial à minha esposa

AGRADECIMENTOS

O meu agradecimento é dirigido ao Professor Doutor Paulo Nazareno Maia Sampaio, por ter aceite ser meu orientador neste trabalho, pela sua capacidade de orientação e crítica. Proporcionou ainda as condições necessárias para a elaboração desta dissertação com a sua disponibilidade e apoio material através da disponibilização de diversos artigos científicos que tinham como objectivo a minha integração e evolução no trabalho aqui apresentado.

Aos meus colegas do Sector de Comunicações e Informática da Universidade da Madeira, pelo seu apoio que permitiu que em conjunto pudéssemos evoluir como equipa, como pessoas e como profissionais.

À minha família, de uma forma muito especial aos meus Pais e Irmãs que sempre me apoiaram e tornaram possível o meu percurso académico.

À minha mulher Fátima, que durante estes últimos anos suportou a minha quase ausência dando-me sempre o seu apoio incondicional e força para continuar, principalmente quando o cansaço e a motivação me levaram várias vezes a desanimar.

ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO.....	1
I.1. MOTIVAÇÃO	2
I.2. CONTEXTO.....	4
I.3. CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	6
I.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	7
II. ABORDAGENS PARA A VERIFICAÇÃO DE CONSISTÊNCIA DE DOCUMENTOS MULTIMÉDIA INTERACTIVOS	9
II.1. INTRODUÇÃO	10
II.2. DOCUMENTO MULTIMÉDIA INTERACTIVO	11
II.3. CARACTERIZAÇÃO DE INCONSISTÊNCIAS TEMPORAIS	12
II.3.1. INCONSISTÊNCIA QUALITATIVA	13
II.3.2. INCONSISTÊNCIA QUANTITATIVA	14
II.4. ABORDAGENS QUE SUPORTAM A VERIFICAÇÃO DE DMI'S.....	18
II.4.1. PROJECCÃO SOBRE O EIXO DOS TEMPOS (LINHA TEMPORAL).....	19
II.4.2. PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	21
II.4.3. GRAFOS DE RESTRIÇÕES	24
II.4.4. SISTEMA DE TRANSIÇÕES.....	31
II.5. CONCLUSÃO	32
III. ABORDAGEM FORMAL: RT-LOTOS	35
III.1. INTRODUÇÃO	36
III.2. LOTOS	36
III.3. TÉCNICA DE DESCRIÇÃO FORMAL RT-LOTOS	38
III.4. O AMBIENTE RTL.....	42
III.4.1. GRAFO MÍNIMO DE ALCANÇABILIDADE.....	43
III.5. VERIFICAÇÃO DE CONSISTÊNCIA DE DMI'S	46
III.6. CONCLUSÃO	51
IV. DIAGNÓSTICO ÀS PROPRIEDADES DE CONSISTÊNCIA TEMPORAL DE DMI'S.....	53
IV.1. INTRODUÇÃO	54
IV.2. ABORDAGEM PROPOSTA PARA O DIAGNÓSTICO DA CONSISTÊNCIA DE DMI'S.....	55
IV.3. ESTRUTURAÇÃO DOS ARCOS DE SINCRONIZAÇÃO	62
IV.4. IDENTIFICAÇÃO DOS INTERVALOS DE TEMPO ABSOLUTO DA OCORRÊNCIA DE EVENTOS NUM GRAFO DE ALCANÇABILIDADE	64
IV.5. ESTRUTURA DO DIAGNÓSTICO.....	73
IV.6. CONCLUSÃO	78
V. IMPLEMENTAÇÃO.....	79
V.1. INTRODUÇÃO	80
V.2. VISÃO FUNCIONAL (CICLO DE AUTORIA)	80
V.3. ACTORES E CASOS DE UTILIZAÇÃO	82
V.3.1. DESCRIÇÃO DOS CASOS DE UTILIZAÇÃO.....	84

V.4.	ARQUITECTURA	85
V.5.	PRINCIPAIS ECRÃS	87
V.6.	PRINCIPAIS COMPONENTES	91
V.7.	OPÇÕES TECNOLÓGICAS	93
V.7.1.	FERRAMENTAS	94
V.8.	CONCLUSÃO	95
VI.	TESTES	97
VI.1.	INTRODUÇÃO	98
VI.2.	TESTE 1 – CENÁRIO COM NÃO DETERMINISMO	99
VI.2.1.	APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO	99
VI.2.2.	APLICAÇÃO DA “ABORDAGEM PROPOSTA PARA O DIAGNÓSTICO DA CONSISTÊNCIA DE DMI’S”	100
VI.2.3.	AValiação DO DIAGNÓSTICO	110
VI.3.	TESTE 2 – CENÁRIO COM INCONSISTÊNCIA DO TIPO QUANTITATIVA	110
VI.3.1.	APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO	111
VI.3.2.	APLICAÇÃO DA “ABORDAGEM PROPOSTA PARA O DIAGNÓSTICO DA CONSISTÊNCIA DE DMI’S”	112
VI.3.3.	AValiação DO DIAGNÓSTICO	118
VI.4.	CONCLUSÃO	119
VII.	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	121
VII.1.	CONCLUSÃO	122
VII.2.	TRABALHO FUTURO	124
	REFERÊNCIAS	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia para o desenho formal de DMI's.....	4
Figura 2 – Cenário demonstrativo da Inconsistência Qualitativa	14
Figura 3 - Inconsistência Quantitativa com origem nas durações determinísticas incompatíveis.....	15
Figura 4 - Documento com Evento não Determinístico Interno.....	16
Figura 5 - Documento com Evento não Determinístico Externo	17
Figura 6 - Ilustração das três vistas do CMIFed adaptado de [Hardman et al., 1994].....	20
Figura 7 - Grafo de restrições temporais adaptado de [Ma and Shin, 2000].....	27
Figura 8 - Operadores LOTOS	37
Figura 9 - Ilustração temporal dos operadores RT-LOTOS	39
Figura 10 - Abordagem para a análise de DMI's	43
Figura 11 - Ilustração parcial de um Grafo mínimo de Alcançabilidade	44
Figura 12 - Detalhe do Nó de um Grafo Mínimo de Alcançabilidade.....	44
Figura 13 - Detalhe da transição de um Grafo mínimo de Alcançabilidade.....	45
Figura 14 -Apresentação paralela de dois objectos média	47
Figura 15- Grafo Mínimo de Alcançabilidade da Figura 14.....	47
Figura 16 - Apresentação paralela de dois objectos média em paralelo.....	49
Figura 17 - Grafo Mínimo de Alcançabilidade da Figura 16.....	49
Figura 18 - Nó Potencialmente Consistente	50
Figura 19 - Principais passos de análise para a geração do diagnóstico das propriedades de consistência temporal de um documento multimédia	56
Figura 20 – Estrutura XML de um Arco de Sincronização.....	63
Figura 21 – Algoritmo de identificação dos intervalos de tempo de permanência numa classe do grafo mínimo de alcançabilidade	66
Figura 22 - Percurso Inconsistente de uma apresentação.....	68
Figura 23 - Diagnóstico, Visão Geral	73
Figura 24- Traço de execução de um percurso.....	75
Figura 25 - Objectos Bloqueados.....	76
Figura 26 - Arcos de Sincronização não Satisfeitos	76
Figura 27 - Causa da Inconsistência	76
Figura 28 - Oferta da Controlabilidade.....	76
Figura 29 - Diagnóstico, Representação Gráfica de um Percurso	77
Figura 30 - Ciclo para a elaboração de um diagnóstico às propriedades de consistencia temporal de um DMI	81
Figura 31 - Actor do Sistema	82
Figura 32 - Casos de utilização do sistema	83
Figura 33 – Arquitectura 3-tier.....	85
Figura 34 - Ecrã de configurações opções de trabalho.....	87
Figura 35 - Ecrã de Diagnóstico de Inconsistências Temporais.....	88
Figura 36- Estrutura em Árvore do Diagnóstico	89
Figura 37 - Análise Textual do Diagnóstico	89

Figura 38 - Análise gráfica de um percurso de uma apresentação	90
Figura 39 - Descrição de um grafo mínimo de alcançabilidade de um percurso da apresentação.....	91
Figura 40 - Diagrama de Pacotes	92
Figura 41 - Teste 1, Apresentação Potencialmente Consistente.....	99
Figura 42 - Teste 1, Visão Geral do Diagnóstico	101
Figura 43 - Teste 1, Grafo Mínimo de Alcançabilidade	103
Figura 44 - Teste 1, Grafo Mínimo de Alcançabilidade Consistente	103
Figura 45 - Teste 1, Grafo Mínimo de Alcançabilidade associado ao Percurso Inconsistente	104
Figura 46 - Teste 1, Traço de execução.....	105
Figura 47 - Teste 1, Arcos de Sincronização	105
Figura 48 - Teste 1, Especificação RT-LOTOS associado ao cenário ilustrado na Figura 41	108
Figura 49 - Teste 1, Representação Gráfica do Percurso #1 associado ao cenário ilustrado na Figura 41	109
Figura 50 - Teste 2, Apresentação com Inconsistência Quantitativa.....	111
Figura 51 - Teste 2, Visão Geral do Diagnóstico, associado ao cenário ilustrado na Figura 50 ..	112
Figura 52 - Teste 2, Grafo Mínimo de Alcançabilidade	113
Figura 53 - Teste 2, Traço de Execução do Percurso ilustrado na Figura 52.....	114
Figura 54 - Teste 2, Arcos de Sincronização associados ao cenário ilustrado na Figura 50.....	114
Figura 55 - Teste 2, Especificação RT-LOTOS associado ao Percurso ilustrado na Figura 52.....	117
Figura 56 - Teste 2, Representação Gráfica do Percurso #1 ilustrado na Figura 52.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Operadores <i>Temporal Access Control</i> (TAC)	30
Tabela 2 - Suporte à verificação das abordagens analisadas.....	34
Tabela 3 - Operadores Temporais RT-LOTOS	39
Tabela 4 - Descrição dos atributos de um Arco de Sincronização.....	63
Tabela 5 - Descrição das variáveis utilizadas no algoritmo apresentado na Figura 21	65
Tabela 6 - Descrição do algoritmo de identificação dos intervalos de tempo de permanência numa classe do grafo mínimo de alcançabilidade	66
Tabela 7 - Intervalos de tempo de permanência em cada classe do grafo	71
Tabela 8 - Intervalo de tempo associado à execução dos eventos num percurso de apresentação.....	72
Tabela 9 - Duração de apresentação dos componentes de um percurso de um documento.....	72
Tabela 10 - Teste 1, Intervalos de tempo de permanência em cada classe do grafo	104
Tabela 11 - Teste 1, Intervalo de tempo associado a cada evento do percurso.....	104
Tabela 12 - Teste 2, Intervalos de tempo de permanência em cada classe do grafo, ilustrado na Figura 52.....	113
Tabela 13 - Teste 2, Intervalo de tempo associado a cada evento do percurso, ilustrado na Figura 52	113

ACRÓNIMOS

CNFS	Constraint Network Fragments
CSCG	Complete Spatial Constraints Graph
CTCG	Complete Temporal Constraints Graph
DAG	Directed Acyclic Graph
DMI	Documento Multimédia Interactivo
DTA	Dynamic Time Automata
LOTOS	Language of Temporal Ordering Specification
MBB	Minimum Bounding Box
RG	Reachability Graph
RTL	Real Time Laboratory
RT-LOTOS	Real Time LOTOS
SCG	Spatial Constraints Graph
SMIL	Synchronized Multimedia Integration Language
TAC	Temporal Access Control
TCG	Temporal Constraints Graph
XML	eXtensible Markup Language
TDF	Técnica de Descrição Formal
ISO	International Standard Organization

I. INTRODUÇÃO

"People Propose, Science Studies, Technology Conforms"

Donald Norman

O ser humano recebe estímulos através dos seus cinco sentidos (visão, audição, tacto, olfacto, gosto) e é através deles que recebemos toda a informação que processamos. No decorrer de um diálogo, uma mensagem que é enriquecida de forma a ser perceptível por mais de um dos cinco sentidos será certamente mais rica e completa, melhorando a comunicação entre o emissor e o receptor.

Por esse motivo, a necessidade de sistemas de informação multimédia tem crescido a um ritmo muito elevado desempenhando hoje um papel determinante na transmissão de ideias e conhecimentos. Potenciado pelo seu poder de expressão, os documentos multimédia interactivos tornaram-se muito atractivos e actualmente assumem uma importância crescente em diversas áreas de actividade humana, nomeadamente as actividades que dependem de uma comunicação eficaz para atingir os seus objectivos onde se incluem a educação, o comércio, a indústria, a medicina e os serviços [Ribeiro, 2004], [Vazirgiannis, 1999].

A multimédia surge assim como uma forma extremamente rica de comunicação, que inclui vários meios (médias) para transmitir uma mensagem, possibilitando o enriquecimento de um meio de comunicação com outras formas ou meios de comunicação.

O seu desenvolvimento deveu-se à convergência da informática, das telecomunicações e da indústria do entretenimento possibilitando a sua proliferação e utilização em casa, nas escolas e nas empresas [Ribeiro, 2004].

Durante o processo de autoria de um documento multimédia, uma das principais preocupações do autor consiste em garantir a correcta apresentação dos diversos objectos média que compõem o seu documento. As relações correspondentes às dependências temporais entre objectos (definidos pelo autor durante o processo de autoria) podem não ser satisfeitas durante a sua apresentação, levando ao aparecimento de comportamentos não esperados pelo autor ou de bloqueios durante a apresentação.

Em particular, as metodologias para a análise e verificação das propriedades de consistência temporal de documentos multimédia interactiva continuam sendo uma área em investigação, especialmente na área da autoria de cenários multimédia, onde frequentemente podem ser geradas inconsistências, pelo trabalho criativo dos autores [Courtiat et al., 1996].

Apesar da sua importância, existem ainda poucos métodos que suportam a verificação de documentos multimédia interactivos [Layaida and Sabry-Ismail, 1996], [Ma and Shin, 2000], [Courtiat et al., 2000], [Mirbel et al., 1999b], daí que, a análise e verificação de situações de bloqueio ou comportamentos não especificados pelo autor, classificados como inconsistências temporais sejam um tema central deste trabalho de dissertação de mestrado.

1.1. MOTIVAÇÃO

Os sistemas multimédia assumem actualmente uma importância crescente em todas as áreas da nossa sociedade, principalmente nas áreas que necessitam de meios de transmissão de informações e ideias entre os seres humanos. Estes interpretam estímulos através dos seus cinco sentidos em paralelo, pois a conjugação de todos eles

permitem-nos absorver a informação que nos rodeia em maior quantidade e melhor qualidade.

No entanto, a autoria de Documentos Multimédia não é uma actividade que se possa realizar ao acaso. Para se explorar convenientemente as suas potencialidades não basta utilizar apenas as ferramentas de edição multimédia, é necessário conhecer as suas características lógicas, físicas e temporais e adequar as combinações de informação visual e auditiva às mensagens que se pretendem transmitir.

O enorme sucesso adquirido pela informação multimédia (documentos multimédia) contrasta em muito com o suporte dado aos seus autores em tempo de autoria. É inconcebível que os documentos multimédia hoje construídos possam subsistir sem o suporte de linguagens de especificação ou metodologias adequadas que permitam tomar decisões e ilações sobre a sua consistência lógica, física e temporal.

As principais ferramentas de edição minimizam a necessidade da verificação da consistência dos documentos antes da sua apresentação. A solução apresentada (pela maioria das ferramentas de edição) consiste em reduzir o número de operadores e relações entre objectos média, limitando desta forma o poder de expressão do autor e ao mesmo tempo o aparecimento de inconsistências que, se surgirem, poderão ser facilmente identificadas e corrigidas na estrutura do documento.

Por outro lado, o reconhecimento da importância das Técnicas de Especificação Formal (TDFs) tem aumentado ao longo dos últimos anos [Cortés et al., 2002], assumindo um maior peso na simulação e desenho de sistemas críticos e complexos uma vez que, devido ao nível da concorrência existente e as interações entre componentes do sistema, estes tornam-se difíceis de gerir e controlar.

Diferentes formalismos têm sido aplicados para a especificação e verificação de sistemas em tempo-real, e em particular no desenho de documentos multimédia interactivos [Layaida and Sabry-Ismail, 1996], [Ma and Shin, 2000], [Courtiat et al., 2000], [Mirbel et al., 1999b]. Dentre esses formalismos, destaca-se a TDF RT-LOTOS (Real-Time LOTOS) [Courtiat et al., 2000], que é uma extensão temporal de LOTOS [ISO-8807] que foi proposta pelo Laboratório de Análise e Arquitectura de Sistemas (LAAS) do CNRS - Toulouse, França. RT-LOTOS e seu conjunto de ferramentas RTL (RT-LOTOS Laboratory) têm sido amplamente utilizados na especificação, verificação e simulação de sistemas em tempo-real, protocolos de comunicação e sistemas multimédia [Courtiat et al., 2000].

O trabalho realizado nesta dissertação faz parte de um projecto maior desenvolvido no LAAS-CNRS que visa o suporte formal baseado na TDF RT-LOTOS para o desenho e implementação de Documentos Multimédia Interactivos (DMI's). Essa metodologia é discutida mais em detalhe na próxima secção.

I.2. CONTEXTO

Como já citado, o trabalho apresentado neste documento foi proposto e desenvolvido no contexto da "Metodologia para o desenho formal", apresentada em [Sampaio and Courtiat, 2004b]. Esta metodologia tem como objectivo fornecer uma base para o desenho (especificação, verificação, escalonamento e apresentação) de Documentos Multimédia Interactivos (que pela sua natureza possuem uma estrutura complexa), tendo como suporte a Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS. Os principais blocos desta metodologia são ilustrados na Figura 1.

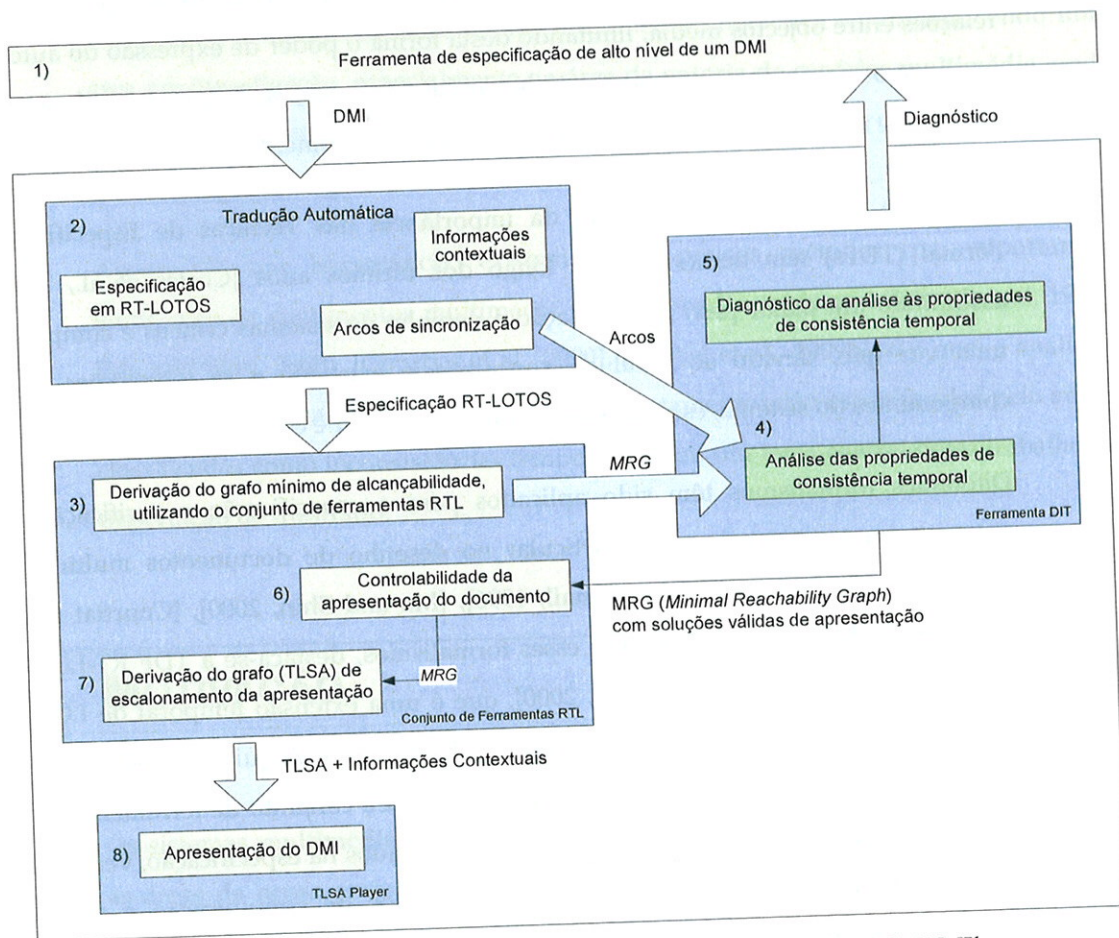


Figura 1 – Metodologia para o desenho formal de DMI's

A metodologia utilizada fornece um elevado grau de flexibilidade durante a autoria, visto esta possibilitar a descrição ou especificação do documento multimédia na linguagem de alto nível de preferência do autor (ex: SMIL [SMIL™]). De uma forma abreviada, esta metodologia é constituída pelos seguintes blocos:

1. A descrição ou **especificação do documento** é realizada, utilizando uma linguagem de alto nível da preferência do autor;
2. A descrição em alto nível do documento multimédia do autor é depois **traduzida automaticamente para uma especificação RT-LOTOS** [Sampaio and Courtiat, 2004b], [Teixeira, 2007]. Durante este processo, é gerado um conjunto de restrições descritas pelos *arcos de sincronização*, que os objectos média terão de respeitar aquando da sua apresentação, e um conjunto de *informações contextuais* que descrevem informações não temporais do documento multimédia (ex: "layout" da apresentação);
3. A especificação RT-LOTOS resultante é depois derivada num **grafo mínimo de alcançabilidade** através do conjunto de ferramentas RTL. É sobre este grafo que serão aplicadas as técnicas formais de verificação da consistência desenvolvidas para esta metodologia;
4. Baseado no grafo mínimo de alcançabilidade e nas restrições definidas pelos arcos de sincronização é realizado a **verificação das propriedades de consistência temporal** do documento multimédia, visando identificar entre outras informações, a consistência global do documento multimédia, as causas das inconsistências e possíveis soluções válidas de apresentação (controlabilidade);
5. Tendo por base a análise às propriedades de consistência temporal do documento multimédia, é gerado um **diagnóstico das propriedades de consistência temporal** com o intuito de ajudar o autor a identificar e resolver as potenciais inconsistências existentes no seu documento multimédia;
6. Se a análise das propriedades de consistência temporal do documento multimédia revelarem a existência de soluções válidas para a sua apresentação, então estas soluções serão fornecidas ao autor através da **controlabilidade do documento** [Sampaio et al., 2001];
7. Tendo por base as soluções válidas para a apresentação do documento, é derivado o **grafo de escalonamento da apresentação do documento**, *Timed Labeled Scheduled Automata* (TLSA), utilizando o conjunto de ferramentas RTL;

8. A apresentação do documento multimédia é realizada utilizando para o efeito o sistema de apresentação "TLSA player" que tem como ponto de entrada o grafo TLSA, derivado no passo anterior (7), e o conjunto de informações contextuais geradas no passo (2) [Sampaio, 2003].

As soluções propostas nesta dissertação de mestrado para a verificação, análise e diagnóstico das propriedades de consistência temporal de DMI's permitem ao autor garantir e consolidar a consistência dos seus documentos, como representado na Figura 1 através dos passos (4) e (5).

I.3. CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

A principal contribuição desta dissertação de mestrado, refere-se à proposta e ao desenvolvimento de uma abordagem para a análise e diagnóstico automático das propriedades de consistência temporal desenvolvida no contexto da "Metodologia para o desenho formal", apresentada na Figura 1 deste documento.

No sentido de encontrar soluções para este problema, esta dissertação apresenta também as seguintes contribuições:

- Realização de um estado da arte sobre as abordagens existentes que permitem a verificação das propriedades de consistência temporal, com principal ênfase para as que fornecem algum tipo de suporte ao autor em tempo de autoria de um **Documento Multimédia Interactivo** (Capítulo II.);
- Proposta de uma abordagem para a identificação dos intervalos de tempo absoluto de ocorrência dos eventos associados a um percurso de apresentação de um documento multimédia, para futura utilização na proposta de geração de um diagnóstico à consistência temporal de um DMI. Esta abordagem tem como suporte o grafo mínimo de alcançabilidade derivado de uma especificação RT-LOTOS pelo conjunto de ferramentas RTL;
- Proposta de uma abordagem para a geração automática de um diagnóstico às propriedades de consistência de um DMI, que suporte o autor no seu processo de autoria de **Documentos Multimédia Interactivos** baseado na metodologia para o desenho de DMI's, utilizando a TDF RT-LOTOS (Capítulo IV.);

- A implementação do protótipo de ferramenta para o Diagnóstico de Inconsistências Temporais (DIT) é o principal artefacto prático desenvolvido neste trabalho. Este protótipo de ferramenta possibilita a geração automática de um diagnóstico às propriedades de consistência de um documento multimédia (Capítulo V.);

I.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se organizada em sete capítulos, começando por esta introdução:

O capítulo II. “Abordagens para a verificação de consistência de Documentos Multimédia Interactivos” apresenta uma análise a diversas abordagens que têm como objectivo a verificação das propriedades de consistência temporal em DMI’s, de forma a identificar os seus métodos, estruturas de organização e inconsistências detectadas.

O capítulo III. “Abordagem Formal: RT-LOTOS” apresenta a abordagem da Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS e o seu conjunto de ferramentas RTL, para a análise e verificação da consistência de documentos multimédia;

O capítulo IV. “Diagnóstico às propriedades de consistência temporal de DMI’s” apresenta uma abordagem para de verificação, análise e diagnóstico automático das propriedades de consistência temporal de um documento multimédia. Esta abordagem tem como base de trabalho uma especificação RT-LOTOS (que representa o comportamento do documento multimédia interactivo concebido pelo autor) e o seu conjunto de ferramentas RTL. O conjunto de ferramentas RTL permite derivar a especificação RT-LOTOS num grafo ao qual serão aplicadas as técnicas de verificação das propriedades de consistência temporal definidas para a linguagem de descrição formal RT-LOTOS.

O capítulo V. “Implementação” descreve o desenvolvimento da aplicação da ferramenta Diagnóstico de Inconsistências Temporais (DIT). Destacam-se neste capítulo os casos de utilização, os principais componentes, a apresentação dos ecrãs e as opções de implementação, relacionados às ferramentas e às tecnologias escolhidas.

O capítulo VI. “Testes” apresenta dois cenários representativos que foram submetidos à ferramenta DIT (Diagnóstico Inconsistências Temporais), como forma de ilustrar a validação dos seus diagnósticos às propriedades de consistência temporal de documentos multimédia.

O capítulo VII. "Conclusões e Desenvolvimentos Futuros" apresenta as conclusões desta dissertação bem como algumas propostas de trabalho futuro a desenvolver.

II. ABORDAGENS PARA A VERIFICAÇÃO DE CONSISTÊNCIA DE DOCUMENTOS MULTIMÉDIA INTERACTIVOS

"The ideal engineer is a composite ... He is not a scientist, he is not a mathematician, he is not a sociologist or a writer; but he may use the knowledge and techniques of any or all of these disciplines in solving engineering problems."

N. W. Dougherty (1955)

II.1. INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações na autoria de um documento multimédia consiste em garantir a correcta apresentação dos diversos objectos média que compõem o documento. As relações de dependência temporal entre objectos definidos pelo autor durante o processo de autoria podem não ser satisfeitas durante a apresentação, daí que a análise de situações qualificadas como incoerências temporais sejam um tema central de investigação.

No entanto, existem poucos métodos que suportam a verificação de documentos multimédia interactivos, tais como os descritos em [Layaida and Sabry-Ismail, 1996] e [Ma and Shin, 2000].

Neste capítulo pretende-se estabelecer alguns conceitos básicos que serão utilizados ao longo do documento como é o caso do conceito de Documento Multimédia e os conceitos associados à caracterização das inconsistências temporais, bem como analisar algumas abordagens que têm como objectivo a verificação das propriedades de consistência temporal em documentos multimédia interactivos (DMI), no que diz respeito à identificação das propriedades sujeitas a verificação, a possibilidade de oferta de correcções, identificação das estruturas de controlo utilizadas na verificação de inconsistências temporais e em relação ao suporte ao autor na resolução dos problemas.

Este capítulo encontra-se organizado da seguinte forma: Na secção II.2 é apresentada a noção de Documento Multimédia Interactivo (DMI) sob a qual irão incidir os diversos métodos de verificação da consistência aqui abordados; na secção II.3 apresentamos as características e definições das inconsistências temporais analisadas; na secção II.4 são apresentados alguns trabalhos desenvolvidos por diversos autores que suportam a verificação da estrutura temporal dos IMD's, estas podem ser classificadas em quatro categorias principais [Santos, 1999]: (1) projecção sobre o eixo dos tempos; (2) programação linear; (3) grafos de restrições; (4) sistemas de transições, e; na secção II.5 é apresentada a conclusão deste capítulo em género de discussão e comparação entre as diversas abordagens aqui apresentadas.

II.2. DOCUMENTO MULTIMÉDIA INTERACTIVO

Actualmente existe uma enorme quantidade de informação armazenada em vários formatos (médias) tais como o vídeo, imagens e som [Chakravarthy et al., 2006]. Este tipo de armazenamento de informação continua a crescer de tal forma que o termo documento multimédia é amplamente utilizado nos nossos dias e, cobre de facto a maioria dos documentos que utilizamos no nosso dia a dia. Utilizar o termo Documento Multimédia é de facto cada vez mais apropriado visto cada vez mais qualquer documento ser verdadeiramente Multimédia por conter diversos médias (som, imagem, vídeo, texto...) [Baghdadi et al., 2005].

Compreende-se como um documento multimédia, um documento digital composto por objectos média de diferentes tipos (som, imagem, vídeo, texto...) integrados através de relações temporais, lógicas e espaciais, com possibilidades de interacção do utilizador e em que existe pelo menos um tipo de média estático (texto, gráfico e imagem) e um tipo de média dinâmico (vídeo, áudio e animação).

Segundo [Meghini et al., 1991], e baseado na norma [ODA, 1989] a percepção de informação de um documento por parte do utilizador pode ser baseada em três dimensões:

1. Estrutura Lógica que define as diferentes partes lógicas de um documento (capítulos, cenários, etc.);
2. Estrutura de Apresentação que descreve o formato e o posicionamento espaço-temporal dos diferentes objectos associados a um documento;
3. Estrutura de Conteúdos que descreve as informações que constituem os componentes de um documento;

Estas três dimensões não são independentes entre si e requerem um processamento combinado aquando da apresentação do documento multimédia e devem ainda possibilitar a interacção com o utilizador.

A definição de multimédia é uma definição que tem evoluído ao longo do tempo acompanhando a evolução dos meios e formas de comunicação como descrito em [Ribeiro, 2004]. Assim e segundo [Chapman and Chapman, 2000] e [Fluckiger, 1995], *um Sistema Multimédia é o resultado da combinação controlada por computador de, texto, gráficos, imagens, vídeo, áudio, animação e qualquer outro meio pelo qual a informação possa*

ser representada, armazenada, transmitida e processada sob a forma digital, em que existe pelo menos um tipo de média estático (texto, gráfico e imagem) e um tipo de média dinâmico (vídeo, áudio e animação), esta é a definição considerada mais precisa e objectiva, sobre o que é a multimédia. No entanto, existem outros autores nomeadamente [Fetterman and Gupta, 1993], [Minoli and Keinath, 1994] e [Vaughan, 2003] que optaram por definições mais abrangentes.

Neste âmbito e tendo em conta as três dimensões de um documento multimédia apresentadas anteriormente, constatamos que a estrutura de suporte de um documento multimédia pode ser consideravelmente complexa nomeadamente quando este possui um número de elementos média e de relações (entre os respectivos elementos) considerável. Tal complexidade cria a necessidade da existência de uma solução de suporte ao autor na verificação da consistência temporal do documento, não fora a principal preocupação do autor durante o processo de autoria garantir a apresentação correcta do seu documento.

De uma forma genérica, as inconsistências temporais que podem surgir num documento podem ser classificadas como quantitativas ou qualitativas como se caracteriza na secção que se segue.

II.3. CARACTERIZAÇÃO DE INCONSISTÊNCIAS TEMPORAIS

A satisfação das restrições de sincronização especificadas no processo de autoria de um documento multimédia, implica normalmente na satisfação de diversas relações lógicas e temporais entre os diversos objectos média que compõem esse documento. Dependendo de como essas restrições são expressas e em que contexto são utilizadas, elas podem não ser respeitadas em tempo de apresentação, levando ao bloqueio ou a comportamentos não desejados do documento multimédia, caracterizando a ocorrência de inconsistências temporais.

Estas inconsistências ou contradições na estrutura temporal de um documento multimédia podem provocar genericamente dois tipos de inconsistências, nomeadamente inconsistências do tipo quantitativo e inconsistências do tipo qualitativo [Courtiat et al., 1996] e [Layaida and Sabry-Ismail, 1996], como se passa a descrever:

- 1) **Qualitativa** quando está relacionada com a inconsistência das relações entre os objectos média de um documento multimédia. Este tipo de inconsistência tem origem nas

restrições descritas pelos **arcos de sincronização** (que descrevem uma relação de dependência – causal – entre dois objectos média) quando estes colocam em causa a estrutura de relações do documento multimédia independentemente da duração dos objectos média envolvidos na apresentação, impedindo a apresentação do documento multimédia ou parte desta.

- 2) **Quantitativa** quando a duração da apresentação de um ou mais objectos média tornam a apresentação de um documento multimédia inconsistente. Este tipo de inconsistência tem origem em;
- a) **Durações determinísticas incompatíveis** quando a duração da apresentação de um ou mais objectos média determinísticos apresentados em paralelo impedem a restrição de sincronização dos respectivos objectos média num determinado momento;
 - b) **Eventos não determinísticos internos** quando a duração da apresentação de um objecto média não é determinística (dando alguma flexibilidade ao documento para possíveis atrasos na apresentação de outros objectos média), não sendo possível prever o momento exacto de conclusão da sua apresentação [Santos, 1999], [Sampaio, 2003];
 - c) **Evento não determinístico externo** quando a duração da apresentação de um objecto média não é determinística e não é possível prever o momento exacto da interacção externa (do utilizador) sobre este objecto média, porque tal momento não é controlável pela estrutura do documento multimédia [Santos, 1999], [Sampaio, 2003];

Os tipos de inconsistência acima identificados são descritos e ilustrados nos tópicos que se seguem.

II.3.1. INCONSISTÊNCIA QUALITATIVA

A inconsistência qualitativa está associada à inconsistência das relações de sincronização entre os objectos média que compõem um documento multimédia. Esta tem origem na estrutura de relações definidas pelo autor que colocam em causa a estrutura do documento multimédia.

Como exemplo considere o documento ilustrado na Figura 2(a) que é composto pela apresentação de três objectos média identificados com as seguintes designações: "A", "B", e

“C”. Os três objectos média são apresentados em sequência, de forma que a apresentação seja iniciada pelo objecto média “A” e termine com a apresentação do objecto média “C” (as respectivas durações não são relevantes neste exemplo).

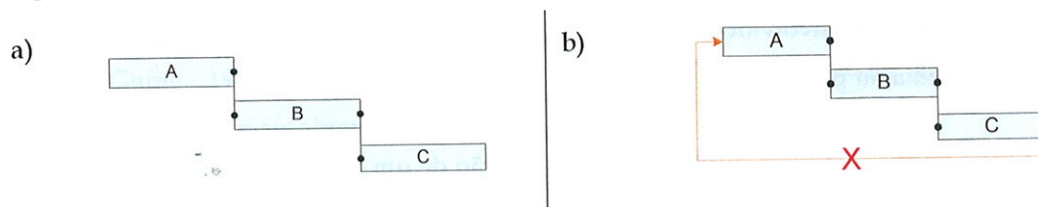


Figura 2 – Cenário demonstrativo da Inconsistência Qualitativa

Ao documento da Figura 2(a), foi adicionada uma restrição que previa que a apresentação do objecto média “A” deveria ocorrer em simultâneo como término da apresentação do objecto média “C”, tal como ilustrado na Figura 2(b). Neste caso em concreto, não é possível iniciar a apresentação do cenário visto este iniciar a sua apresentação com a apresentação do objecto média “A”. No entanto, a restrição introduzida pelo autor impõe que esta só se inicie após a conclusão da apresentação do objecto média “C” que nunca ocorreu, logo, jamais será possível sincronizar o fim da apresentação do objecto média “C” com o início da apresentação do objecto média “A”.

A introdução da restrição conduziu a uma inconsistência temporal qualitativa, que neste caso concreto conduziu o documento a uma inconsistência. Este tipo de inconsistência é definido como *Inconsistência Qualitativa* visto não estar relacionada com a duração de qualquer dos objectos apresentados, mas com a estrutura lógica de apresentação do documento multimédia.

II.3.2. INCONSISTÊNCIA QUANTITATIVA

A inconsistência quantitativa ocorre quando a duração da apresentação de um ou mais objectos média tornam a apresentação de um documento multimédia inconsistente não sendo possível respeitar as relações definidas pelo autor para a sua apresentação. A ocorrência deste tipo de inconsistência conduz a apresentação de um documento multimédia a comportamentos inesperados ou ao bloqueio total ou parcial desta.

Este tipo de inconsistência tem as seguintes origens:

- a) Durações determinísticas incompatíveis
- b) Eventos não determinísticos internos;

- c) Eventos não determinísticos externos;

De seguida iremos descrever e exemplificar cada uma dessas inconsistências.

Inconsistência Quantitativa com origem nas durações determinísticas incompatíveis

Este tipo de inconsistência ocorre quando a duração da apresentação de um ou mais objectos média impede a sincronização do respectivo processo.

Recorrendo a um exemplo, considere o documento ilustrado na Figura 3(a), que é composto pela apresentação de três objectos média com as seguintes designações "A", "B", e "C". A apresentação do documento multimédia inicia-se com a apresentação do objecto média "A" simultaneamente com o objecto média "C". A apresentação do objecto média "B" inicia-se com o fim da apresentação do objecto média "A". A duração dos objectos média "A", "B" e "C" são respectivamente 2, 6 e 9 unidades de tempo.

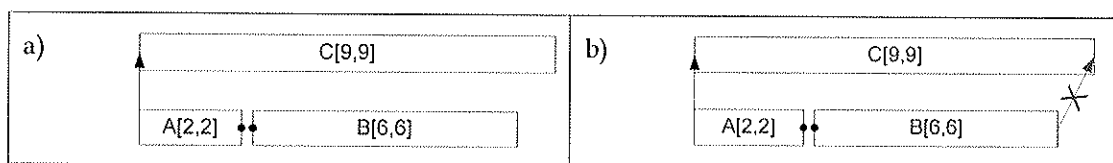


Figura 3 - Inconsistência Quantitativa com origem nas durações determinísticas incompatíveis

Ao documento da Figura 3(a) foi adicionada uma restrição que prevê que a apresentação do objecto média "C" termina a sua apresentação em simultâneo com o objecto média "B", como ilustrado na Figura 3(b). Neste caso em concreto, a apresentação do cenário multimédia terá um comportamento inesperado ou no máximo irá bloquear, visto a duração temporal da apresentação do objecto média "C" ser diferente da sequência das apresentações dos objectos média "A" e "B". Assim, jamais será possível sincronizar o fim da apresentação do objecto média "B" com o fim da apresentação do objecto média "C" sem alterarmos a duração dos objectos intervenientes.

De uma forma geral, poderíamos resolver a inconsistência incrementando a duração da apresentação dos objectos média "A" e "B", ou reduzindo a duração da apresentação do objecto média "C", de forma a que a duração da apresentação sequencial dos objectos média "A" e "B" seja idêntica à duração da apresentação do objecto média "C". Desta forma, verificamos que a inconsistência está dependente da duração dos objectos média que compõem o documento como todos os objectos intervenientes na inconsistência têm uma duração de apresentação determinística, identificamos a inconsistência como uma *Inconsistência Quantitativa com origem nas durações determinísticas incompatíveis*.

Inconsistência Quantitativa com origem nos Eventos não Determinísticos Internos

Os *eventos não determinísticos internos* estão associados ao ajuste controlado da duração temporal da apresentação dos objectos média de um documento para colmatarem possíveis atrasos na apresentação de outros objectos [Sampaio, 2003].

Recorrendo a um exemplo, considere um documento multimédia que contenha um objecto média cuja duração da sua apresentação não é determinística como ilustrado na Figura 4.

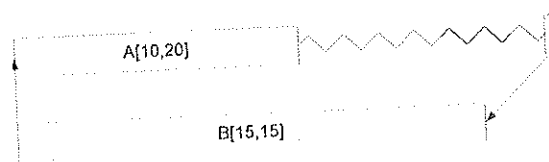


Figura 4 - Documento com Evento não Determinístico Interno

O documento multimédia ilustrado na Figura 4 é composto por dois objectos média designados por "A" e "B" que estão sendo apresentados em paralelo. A duração da apresentação dos objectos média "A" e "B" são, respectivamente, [10,20] e 15 unidades de tempo. Como restrição de sincronização temos:

- O início da apresentação do objecto média "A" sincroniza com o início da apresentação do objecto "B";
- O fim da apresentação do objecto "B" sincroniza com o fim da apresentação do objecto "A".

Neste caso em concreto, a apresentação do cenário multimédia terá um comportamento inesperado ou no máximo irá bloquear se a duração de apresentação do objecto média "A" for diferente de 15 unidades de tempo, isto porque às 15 unidades de tempo da apresentação é requerida a sincronização dos objectos média "A" e "B". Logo os requisitos de sincronização entre os objectos média "A" e "B" apenas serão satisfeitos se a duração da apresentação do objecto média não determinístico "A" for igual a 15 unidades de tempo. Como a inconsistência é do tipo quantitativa, visto depender da duração de apresentação dos objectos média e ter origem num objecto média cuja duração é não determinística, a inconsistência é classificada como *inconsistência quantitativa com origem em eventos não determinísticos internos*.

Inconsistência Quantitativa com origem nos Eventos não Determinísticos Externos

Os *eventos não determinísticos externos* estão associados à ocorrência de acções externas cujas ocorrências não são directamente controláveis tais como interacções do utilizador ou apresentação de objectos média remotos [Santos, 1999], [Sampaio, 2003]. Assim não é possível prever o momento exacto por exemplo da interacção externa do utilizador sobre o objecto média interactiva, porque tal momento não é controlável pela estrutura do documento, este apenas pode limitar o intervalo de tempo em que tal pode ocorrer.

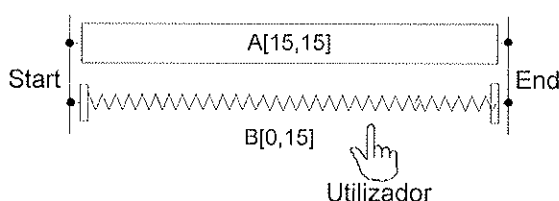


Figura 5 - Documento com Evento não Determinístico Externo

Consideremos o exemplo do documento multimédia ilustrado na Figura 5. Este documento é composto por 2 objectos média designados por "A" e "B" que estão sendo apresentados em paralelo. A duração da apresentação do objecto média "A" e do objecto média interactiva "B" são, respectivamente, 15 e [0,15] unidades de tempo. Como restrições de sincronização temos:

- Os objectos média "A" e "B" devem iniciar a apresentação em simultâneo;
- O objecto média "A" deve terminar a sua apresentação aquando da interacção do utilizador sobre o objecto média interactiva "B", ou quando o objecto média interactiva "B" terminar a sua apresentação.

Ao analisarmos o documento multimédia ilustrado na Figura 5 verificamos que a apresentação do objecto média "A" tem uma duração determinística de 15 unidades de tempo e só em 15 unidades de tempo estará disponível para sincronizar a sua apresentação com a apresentação do objecto média interactiva "B".

O objecto média interactiva "B" por seu lado pode terminar a sua apresentação por interacção do utilizador entre 0 e 15 unidades de tempo. No entanto, os requisitos de sincronização entre os objectos média "A" e "B" apenas serão satisfeitos se a duração da apresentação do objecto média não determinístico "B" for igual a 15 unidades de tempo. Como a inconsistência é do tipo quantitativa, visto depender da duração de apresentação dos objectos média e ter origem num evento externo (interacção do utilizador) sobre um objecto média interactiva cuja duração é não

determinística, a inconsistência é classificada como *inconsistência quantitativa com origem em eventos não determinísticos externos*.

Na secção que se segue iremos apresentar algumas abordagens que suportam a verificação da consistência de documentos multimédia.

II.4. ABORDAGENS QUE SUPORTAM A VERIFICAÇÃO DE DMI's

Ao longo destes últimos anos diversos modelos foram apresentados para a descrição da estrutura temporal de um documento multimédia.

No entanto, dos diversos modelos desenvolvidos para a descrição da estrutura temporal de um documento multimédia, apenas alguns suportam a verificação das propriedades de consistência e estes podem ser categorizados segundo quatro linhas de orientação estruturais [Santos, 1999]:

1. Estrutura baseada em **projeções sobre o eixo dos tempos**, em que algumas das abordagens de referência são: CMIFed (*CWI Multimedia Interchange Formal editor*) [Rossum et al., 1993], GriNs (*Graphical Interface for SMIL*) [Bulterman et al., 1999] e HyperProp [Soares et al., 1995];
2. Estrutura baseada na **programação linear**, por exemplo: Firefly [Buchanan and Zellweger, 1993b];
3. Estrutura baseada num **grafo de restrições**, em que algumas abordagens de referência são: MADEUS [Jourdan et al., 1998], HPAS [Yu and Xiang, 1997], ISIS [Kim and Song, 1995] e CHIMP [Candan et al., 1996];
4. Estrutura baseada num **sistema de transições**, em que algumas abordagens de referência são: RT-LOTOS [Courtat et al., 2000], OCPN [Little and Ghafoor, 1990], RdPFT [Diaz and Sénac, 1994] e RdPHFT [Sénac et al., 1995].

As secções que se seguem apresentam uma breve descrição de cada uma das quatro linhas estruturais acima identificadas, para cada uma destas categorias foram acompanhadas a título de exemplo pela descrição de um dos modelos desenvolvidos e representativos da respectiva categoria.

II.4.1. PROJECCÃO SOBRE O EIXO DOS TEMPOS (LINHA TEMPORAL)

A criação de documentos multimédia baseada na projecção sobre o eixo dos tempos, indicando sobre uma linha temporal a ordem com que os respectivos objectos média devem ser apresentados está entre as primeiras formas de organização de um DMI. Aliás, esta é a forma clássica de evitar inconsistências na estrutura de apresentação do documento multimédia, uma vez que a simplicidade do modelo em questão não permite ao autor descrever relações que leve a inconsistências. As abordagens baseadas neste método organizam as suas apresentações representando os objectos média sob a forma de intervalos (dinâmicos ou estáticos) projectados sobre o eixo dos tempos. Estas projecções são apresentadas ao autor de forma que este possa de forma visual verificar o comportamento temporal dinâmico da apresentação.

Durante a autoria, as projecções sobre o eixo dos tempos podem ser utilizadas directamente para ajustar os respectivos objectos média e as suas durações assegurando assim a consistência temporal de tal forma que não é possível gerar inconsistências temporais (quantitativas).

Estas projecções podem ser utilizadas de forma indirecta (como descrito em CMIFed [Rossum et al., 1993], GriNs [Bulterman et al., 1999] e HyperProp [Soares et al., 1995]), a partir da estrutura lógica utilizada para organizar e estruturar as informações do documento. Dessa forma, o autor pode optar por uma autoria do documento multimédia estruturada e uma verificação da consistência baseada na observação (visual) das projecções dos respectivos objectos média sobre o eixo dos tempos.

Um exemplo de uma abordagem que suporta a verificação da consistência em documentos multimédia baseada na projecção sobre o eixo dos tempos é o CMIFed, que se irá descrever em mais pormenor na secção seguinte.

CMIFed - CWI Multimedia Interchange Format editor

Numa abordagem à base da projecção sobre o eixo dos tempos a especificação de um cenário consiste na projecção de um conjunto de instantes sobre o eixo dos tempos único item determinante para o início e fim da apresentação dos respectivos objectos média. O controlo da apresentação é realizado pela interpretação directa desta especificação que contém todos os instantes (eventos) que alteram a apresentação do cenário, definido de forma estática pelo seu autor.

O ambiente de autoria de DMI's CMIFed (*CWI Multimedia Interchange Format editor*) combina a estrutura do documento com os métodos baseados na projecção sobre o eixo dos tempos, fornecendo ao autor um ambiente de autoria estruturado para visualizar e manipular a apresentação de um DMI, para facilitar a visualização do comportamento dinâmico de uma apresentação [Hardman et al., 1994]. No entanto, o autor ajusta directamente a duração dos objectos média quando pretende realizar alguma correcção ou resolver alguma inconsistência potencial.

O CMIFed disponibiliza ao autor três vistas de projecções diferentes do documento multimédia: (1) **Vista hierárquica** é a vista principal e permite a análise da organização dos componentes, representa também a estrutura de controlo do documento (estrutura em árvore); (2) **Vista dos canais** de apresentação, que permite ao autor detectar as contradições entre as restrições temporais e os conflitos de utilização dos recursos físicos, e; (3) **Vista da apresentação** constituída pelo *player* que mostra o efeito do mapeamento abstracto da apresentação para uma plataforma específica, permite ainda a edição de alguns aspectos *layout* da apresentação.

Como as três vistas (hierárquica, canais e apresentação ilustradas na Figura 6) estão integradas, as modificações realizadas numa são imediatamente propagadas para as outras, facilitando assim o processo de autoria dos documentos multimédia.



Figura 6 - Ilustração das três vistas do CMIFed adaptado de [Hardman et al., 1994]

Os documentos multimédia produzidos utilizando esta abordagem podem conter diversos tipos de média estáticos e dinâmicos aos quais o autor pode impor alguma organização ao colocá-los numa estrutura em árvore conseguindo assim representar apresentações em paralelo e em sequência. A introdução de atrasos numa apresentação em paralelo de um objecto média em relação ao outro pode ser conseguida introduzindo um arco de sincronização e a interacção

O ambiente de autoria de DMI's CMIFed (*CWI Multimedia Interchange Format editor*) combina a estrutura do documento com os métodos baseados na projecção sobre o eixo dos tempos, fornecendo ao autor um ambiente de autoria estruturado para visualizar e manipular a apresentação de um DMI, para facilitar a visualização do comportamento dinâmico de uma apresentação [Hardman et al., 1994]. No entanto, o autor ajusta directamente a duração dos objectos média quando pretende realizar alguma correcção ou resolver alguma inconsistência potencial.

O CMIFed disponibiliza ao autor três vistas de projecções diferentes do documento multimédia: (1) **Vista hierárquica** é a vista principal e permite a análise da organização dos componentes, representa também a estrutura de controlo do documento (estrutura em árvore); (2) **Vista dos canais de apresentação**, que permite ao autor detectar as contradições entre as restrições temporais e os conflitos de utilização dos recursos físicos, e; (3) **Vista da apresentação** constituída pelo *player* que mostra o efeito do mapeamento abstracto da apresentação para uma plataforma específica, permite ainda a edição de alguns aspectos *layout* da apresentação.

Como as três vistas (hierárquica, canais e apresentação ilustradas na Figura 6) estão integradas, as modificações realizadas numa são imediatamente propagadas para as outras, facilitando assim o processo de autoria dos documentos multimédia.



Figura 6 - Ilustração das três vistas do CMIFed adaptado de [Hardman et al., 1994]

Os documentos multimédia produzidos utilizando esta abordagem podem conter diversos tipos de média estáticos e dinâmicos aos quais o autor pode impor alguma organização ao colocá-los numa estrutura em árvore conseguindo assim representar apresentações em paralelo e em sequência. A introdução de atrasos numa apresentação em paralelo de um objecto média em relação ao outro pode ser conseguida introduzindo um arco de sincronização e a interacção

com o utilizador é conseguida associando um *hyperlink* aos tipos de média texto ou imagem [Hardman et al., 1994].

CMIFed não propaga as transformações temporais pela estrutura hierárquica do documento multimédia, o que é frequentemente associado a uma deficiência no sistema. No entanto, como os aspectos de tempo são calculados "bottom-up", a duração da composição é menos relevante.

Enquanto que as linhas de tempo dão uma boa visão do tempo de apresentação, esta não é necessariamente a melhor abordagem durante a autoria. No entanto, no CMIFed é proposto uma abordagem estruturada durante a autoria com duas vistas associadas uma vista baseada na linha do tempo e outra vista baseada em canais de apresentação.

Propriedades de Consistência Identificadas

Visto esta abordagem estar indirectamente dependente da projecção sobre o eixo dos tempos, a falta de flexibilidade deste modelo não permite ao autor especificar relações de sincronização que levem a inconsistências quantitativas. No entanto, são detectadas as seguintes inconsistências:

- a. Inconsistências qualitativas ou lógicas introduzidas pelos arcos de sincronização entre eventos;
- b. Identificação de arcos ("*links*") quebrados (os "*links*" apenas podem ser criados entre duas âncoras, logo não é possível criar "*links*" incompletos, se uma âncora estiver sendo usada e for removida, o sistema elimina também todos os "*links*" associados a essa âncora se este processo falhar então poderão surgir "*links*" quebrados que podem ser identificados utilizando uma funcionalidade do sistema [Hardman, 1998]);
- c. Identificação de inconsistência na utilização de recursos físicos;

II.4.2. PROGRAMAÇÃO LINEAR

As abordagens baseadas na programação linear para a verificação da consistência temporal de documentos multimédia, consistem na solução de um problema de minimização de uma função de custo. Esta função calcula o ajuste que é necessário realizar à duração da apresentação de um objecto média baseada para tal nas: restrições descritas pelo autor, na duração das apresentações dos objectos média envolvidos e no custo associado à diminuição ou aumento do tempo de apresentação em relação à duração de apresentação óptima, sendo que este ajuste

encontra-se limitado a um valor mínimo e máximo. Se uma solução para a função de custo for encontrada de forma a satisfazer todas as restrições e limitações de ajuste de todos os objectos média, o documento multimédia é considerado consistente.

Um exemplo de uma abordagem que suporta a verificação da consistência em documentos multimédia baseada na programação linear é o **Firefly** [Buchanan and Zellweger, 1993b], que será descrito na secção seguinte.

Firefly

O Firefly é um sistema criado para a autoria e apresentação de documentos multimédia [Buchanan and Zellweger, 1993b] cujos principais objectivos são:

1. Permitir ao autor especificar restrições temporais de sincronização entre eventos dos objectos média;
2. Permitir a introdução de objectos média cuja duração não é determinística (incluindo interacções do utilizador) e de objectos média com duração determinística no mesmo documento multimédia;
3. Explorar formatadores temporais automáticos [Buchanan and Zellweger, 1993a].

Este sistema inclui ainda um algoritmo de programação linear para gerar uma solução de apresentação que respeite as restrições temporais introduzidas pelo autor num documento multimédia, que se encontra organizado em três partes:

1. **Componentes Média**, que descrevem o comportamento temporal de uma informação que pode ser apresentada (vídeo, áudio, texto...);
2. **Restrições Temporais de Sincronização** que ordenam temporalmente a execução de um par de eventos de um ou mais objectos média;
3. **Lista de Operações** que está associada aos eventos que controlam o comportamento da apresentação de qualquer objecto. As operações utilizáveis estão descritas e implementadas para cada tipo de objecto média (vídeo, áudio, texto...)

No Firefly, os objectos média são especificados de tal forma que contêm informação sobre a sua duração óptima, mínima e máxima e o custo associado ao ajuste da duração da apresentação do respectivo objecto. As restrições entre eventos são especificadas sob a forma " $x - y \leq b$ " e armazenadas numa rede de restrições. Estas definem os intervalos aceitáveis entre quaisquer

dois eventos de uma apresentação (uma duração [8, 12] de um objecto é especificado como $Fim_A - Inicio_A \leq 12$ e $Fim_A - Inicio_A \geq 8$).

A geração do escalonamento de uma apresentação consiste em encontrar uma solução válida de apresentação que respeite as restrições de apresentação introduzidas pelo autor do documento multimédia. Para tal, a geração da solução da apresentação pode recorrer a um ajustamento das durações de apresentação dos diversos objectos média, mediante os resultados obtidos de uma função de minimização do custo (simplex) associado a esse ajustamento. Como é óbvio, se não for possível encontrar uma solução para a respectiva função, então não é possível encontrar uma solução válida de apresentação do documento multimédia, o que implica que o documento multimédia é temporalmente inconsistente.

Durante a geração do escalonamento da apresentação e caso não seja possível obter um resultado para a função de custo que respeite as restrições, é gerada uma mensagem que inclui a lista de eventos para os quais não foi possível atribuir um tempo, são ainda geradas mensagens de aviso se for encontradas operações não implementadas, restrições de sincronização inválidas ou eventos que ocorram no mesmo instante com origem no mesmo objecto.

Propriedades de Consistência Identificadas

A abordagem apresentada pelo Firefly defende que os sistemas de autoria multimédia deveriam fornecer mecanismos automáticos para a geração do escalonamento temporal da apresentação do documento multimédia [Buchanan and Zellweger, 1993a].

Para tal, o sistema gera automaticamente o escalonamento da apresentação do documento multimédia para o qual pode alongar ou encurtar os tempos de apresentação dos diversos objectos média. Este escalonamento é realizado tendo por base uma função de custo. Caso exista alguma inconsistência que impeça a função de obter uma solução então não é possível gerar o escalonamento da apresentação.

Por conseguinte, o formatador do escalonamento da apresentação do DMI detecta todas as inconsistências que impeçam o escalonamento da apresentação quer sejam temporais ou de ambiente envolvente [Buchanan and Zellweger, 2005]. Desta forma, um escalonamento de apresentação de um DMI diz-se consistente se os tempos atribuídos à ocorrência dos eventos respeitam as restrições temporais entre os componentes média. O escalonamento de uma apresentação é apresentável se esta for considerada consistente e os requisitos do ambiente de execução forem satisfeitos.

II.4.3. GRAFOS DE RESTRIÇÕES

As abordagens baseadas em grafos de restrições para a verificação da consistência temporal de documentos multimédia, utilizam um grafo orientado para descrever as restrições da estrutura temporal do documento multimédia, sob o qual, os métodos de análise das propriedades de consistência serão aplicados.

Entre os métodos de análise estão: a verificação de ciclos no grafo de restrições [Candan et al., 1996] e [Yu, 1998] ou a verificação se cada par de objectos estão ligados por uma restrição formando um único conjunto ligado [Ma and Shin, 2000].

Normalmente este tipo de abordagem descreve directamente o documento multimédia sob os respectivos grafos. Isto facilita a aplicação dos respectivos métodos de verificação de forma incremental ao longo do processo de autoria, informando o autor da existência de uma inconsistência.

Um exemplo de uma abordagem que suporta a verificação da consistência em documentos multimédia baseada nos grafos de restrições é o MADEUS [Layaida and Sabry-Ismail, 1996], que será descrito na secção seguinte.

Madeus

Nesta abordagem é proposto um modelo baseado em intervalos e restrições que servem de base à verificação da consistência do Documento Multimédia. A ênfase é dada à flexibilidade da especificação temporal e ao comportamento não determinístico dos objectos média. Os objectivos desta abordagem são:

1. **Modelação Estrutural** do conteúdo de um documento definido por uma estrutura hierárquica recursiva de componentes, em que as folhas dessa estrutura são objectos média e nós compostos de objectos média;
2. **Manipulação incremental do documento** em que o autor constrói o documento adicionando uma restrição de cada vez, mantendo todas as restrições previamente introduzidas no estado actual do documento;
3. **Verificação da consistência** de todas as especificações introduzidas pelo autor, o sistema verifica a existência de uma solução consistente para o conjunto das restrições, caso contrário será reportado um erro ao autor;

4. **Integração das diferentes dimensões** de um documento multimédia pois este modelo foca quatro dimensões (*lógica, temporal, espacial e hyperlink*) [Layaida and Sabry-Ismail, 1996]. Estas dimensões estão interrelacionadas e são consideradas simultaneamente sempre que se cruzam. No entanto, é dada primazia às dimensões temporal e lógica;
5. **Geração automática da apresentação temporal** a partir da especificação da estrutura de relações realizada pelo autor do documento multimédia. Para tal, é utilizada uma linguagem de alto nível que descreve a apresentação temporal do documento, o que faz não ser necessário especificar da estrutura de relações a um nível.

A partir da descrição de alto nível de um documento, as restrições temporais de um documento formam uma rede que é representada num grafo denominado DAG (*Directed Acyclic Graph*) em que:

1. Os nós do grafo representam o instante de tempo em que um ou mais intervalos de tempo podem começar ou acabar;
2. As transições representam o intervalo de tempo entre dois nós evidenciando a restrição da respectiva duração ou atraso da apresentação.

No grafo DAG existem dois nós abstractos (*BEGIN* e *END*) que representam pontos no tempo e definem o início e o fim da apresentação de um objecto composto. A apresentação de um documento multimédia considerando a estrutura de restrições representadas pelo grafo DAG é o percurso que inicia no nó *BEGIN* e termina no nó *END* passando obviamente por todos os nós intermédios envolvidos na apresentação.

Dois aspectos distintos podem ser identificados, a flexibilidade e a controlabilidade. A flexibilidade mede a possibilidade de a apresentação de um cenário ser ajustada de forma a manter a consistência, a controlabilidade possibilita o reajustamento da apresentação de um cenário de forma a compensar em tempo de execução o comportamento de objectos não determinísticos.

Propriedades de Consistência Identificadas

Ao modificar um documento multimédia estamos consequentemente a alterar as suas restrições temporais e estas poderão levar a apresentação do documento multimédia a uma inconsistência temporal visto os parâmetros e ligações dos objectos média terem de respeitar a progressão temporal da apresentação.

A utilização do grafo DAG, na verificação das propriedades de consistência temporal, possibilita a detecção de inconsistência qualitativa, quantitativas e derivadas de objectos não

determinísticos [Layaida and Sabry-Ismail, 1996], existe ainda um grafo HSTP (Hyper graph of Simple Temporal Problems) que permite também a verificação quantitativa.

Grafos de Restrições (H. Ma & K. Shin)

Os autores Huadong Ma e Kang G. Shin propuseram em [Ma and Shin, 2000] e [Ma and Shin, 2004] uma abordagem baseada no modelo de restrições entre os objectos média de um documento multimédia, que visa permitir analisar e classificar as restrições de sincronização entre objectos média de um documento multimédia, baseando-se para tal na estrutura de um grafo de restrições.

O mecanismo de verificação das inconsistências foi considerado um tópico essencial nesta abordagem, de tal forma que é proposto que a verificação da consistência do documento seja realizada em tempo real, fornecendo informação ao autor logo após o surgimento de uma inconsistência derivada da introdução de uma restrição.

Após a detecção de uma inconsistência, é fornecida uma estratégia de correcção das restrições envolvidas na inconsistência, para garantir a apresentação correcta do documento. Assim, são disponibilizadas várias opções, desde o relaxamento sistemático de restrições, o pedido explícito ao autor para eliminar ou adicionar restrições, a divisão das restrições em restrições principais e restrições secundárias, ou ainda fornecer alguma flexibilidade permitindo a expansão ou retracção da duração de apresentação de cada objecto média durante a apresentação.

O objectivo desta abordagem visa a integração da modelação, verificação das restrições em documentos multimédia e das estratégias de relaxamento das restrições de sincronização entre objectos média. Para tal, esta abordagem propõe-se a:

1. Definir uma **nova notação para a representação das relações temporais entre objectos média**, permitindo uma transformação directa para a representação das relações temporais de Allen [Allen, 1983];
2. Definir o **conceito de documento completo a nível das suas restrições** de um cenário multimédia, quer a nível de restrições temporais quer espaciais;
3. **Detectar a ausência de restrições** de sincronização temporal, ou espacial;
4. Efectuar a **verificação de consistência temporal e espacial** de um documento;
5. Definir uma **classificação de restrições** que permita a tomada de decisões, perante uma determinada inconsistência.

Tendo por base o novo conceito de análise de restrições utilizado nesta abordagem, foi proposta uma nova definição com o objectivo de detectar a completude das restrições de um documento multimédia. Assim um documento diz-se completo a nível das suas restrições entre objectos média se:

1. Existe uma restrição para cada par de objectos média;
2. Existe apenas um componente por documento multimédia, sendo um componente um conjunto de objectos média com restrições definidas entre si (como o ilustrado na Figura 7(b), pelo contrário a Figura 7(a) ilustra dois componentes).

Segundo estas definições, o autor do documento multimédia saberá previamente que terá de introduzir $k-1$ restrições, em que k é o nº de componentes de forma a ligar todos os componentes e consequentemente todos os objectos média do documento conforme ilustrado na Figura 7(a,b).

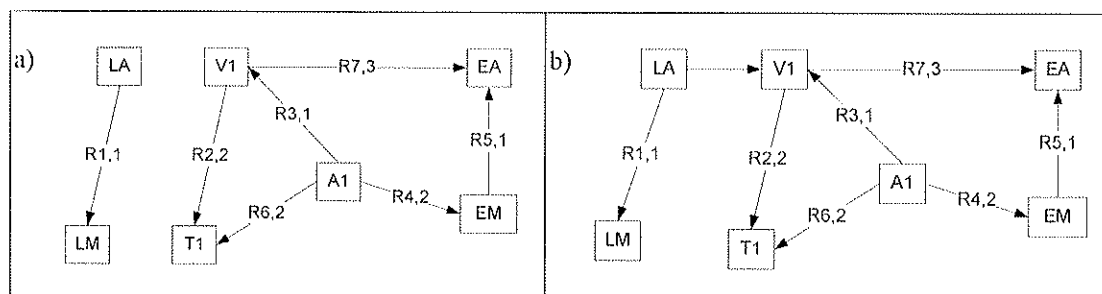


Figura 7 - Grafo de restrições temporais adaptado de [Ma and Shin, 2000]

Como exemplo, a Figura 7(a) ilustra um documento com dois componentes, ou seja dois conjuntos de objectos (LA, LM) e (V1, T1, A1, EA, EM) que não possuem qualquer restrição entre si. Segundo a definição de documento completo, este documento necessita de $k-1$ restrições, logo $2-1=1$, necessita de mais uma restrição ligando os dois componentes de forma a obter um só componente no documento como ilustra a Figura 7(b).

Durante a autoria de um cenário multimédia baseado neste sistema de restrições, o autor poderá eventualmente querer a satisfação de algumas restrições em detrimento de outras tendo o sistema de garantir a sua execução. Por conveniência do sistema de resolução de inconsistências, as restrições foram divididas em categorias com diferentes graus de prioridade de tal forma que, as restrições de maior prioridade são vistas como essenciais e as restantes como descartáveis. As três categorias que se podem atribuir a uma restrição, são:

1. Restrição cuja satisfação tem de ser garantida pelo sistema, tem o nível 1;
2. Restrição cuja satisfação pode ser negociada pelo sistema, tem o nível 2;
3. Restrição cuja satisfação pode ser negligenciada pelo sistema, tem o nível 3;

De referir que a prioridade com que a restrição é classificada é inversamente proporcional ao nível por ela representado, ou seja, a classificação de maior prioridade tem o nível 1 e a de menor prioridade tem o nível 3.

Propriedades de Consistência Identificadas

A verificação da consistência das restrições de sincronização é extremamente importante para obtermos uma apresentação controlada. Se existir alguma inconsistência na definição do documento multimédia este poderá não ser interpretado correctamente de forma a ser apresentado como o esperado. Para tal são propostas as seguintes definições:

1. Um documento multimédia diz-se completo de restrições de sincronização, quando entre qualquer par de objectos média do documento existe uma restrição de sincronização [Ma and Shin, 2004].
2. Do ponto de vista temporal, um documento com N objectos média pode ser corrigido introduzindo $N - 1$ restrição de sincronização entre os objectos média, de tal forma que cada objecto média esteja presente em pelo menos uma restrição de sincronização [Ma and Shin, 2004].

Com o objectivo de garantir que a especificação de um documento multimédia é apresentada correctamente, esta abordagem propõe a verificação de duas propriedades de consistência, a temporal e a espacial. As propriedades de consistência verificadas por esta abordagem são:

1. Verificação da **completude das restrições temporais/espaciais num documento multimédia**, isto é, um documento multimédia que seja composto por N objectos média, deve apresentar no mínimo $N-1$ restrições entre os respectivos objectos média de tal forma que os objectos média relacionados entre si formem um só componente ligado, sendo um componente um conjunto de objectos média com restrições definidas entre si;
2. Verificação da **consistência das restrições temporais/espaciais num documento multimédia** consiste em identificar as restrições temporais entre objectos média que sejam redundantes. Se num documento multimédia existirem mais de $N - 1$ restrição entre os objectos média, sendo N o nº de objectos média do documento, tem de existir restrições temporais redundantes entre os objectos média.

Assim que o autor introduz uma restrição entre dois objectos média do documento, essa alteração é verificada e caso produza uma inconsistência o autor é imediatamente notificado visto a verificação da consistência ser realizada em tempo real durante a autoria. Ao mesmo tempo, são fornecidas algumas estratégias de correcção das restrições envolvidas na

inconsistência. Para garantir a correcta apresentação do documento são disponibilizadas várias opções ao seu autor:

1. **Relaxamento sistemático** de restrições;
2. **Pedido explícito** ao autor para eliminar ou adicionar restrições;
3. A **divisão das restrições** em restrições principais e restrições secundárias;
4. **Fornecer alguma flexibilidade** permitindo a expansão ou retracção da duração de apresentação de cada objecto média durante a apresentação.

Tendo em conta as prioridades de cada restrição as restrições redundantes com menor prioridade podem ser eliminadas automaticamente ou reportadas ao autor que decide qual a restrição que deve ser eliminada.

I. Mirbel

Durante a autoria de cenários multimédia, em particular, os que envolvem interacções com utilizadores, é difícil de garantir a sua consistência durante a apresentação.

A metodologia descrita em [Mirbel et al., 2000], [Mirbel et al., 1999b] e [Mirbel et al., 1999a] pretende fornecer ao autor de um documento multimédia interactivo técnicas de verificação da consistência temporal aquando do processo de autoria desses documentos.

Um cenário no contexto de um DMI é a unidade de integração do comportamento de um documento multimédia interactivo, este cobre as sincronizações temporais e espaciais dos objectos média participantes no cenário, as interacções externas com os utilizadores e internas com outros objectos média.

O modelo baseado em cenários é a base para a verificação da consistência temporal das restrições entre objectos. Este modelo consiste num conjunto de unidades funcionais (*Scenario Tuples*), que incluem o disparo de eventos que o iniciam ou param.

Os *Scenario Tuple* assumem a forma (start_event, stop_event, action_list, synch_event) onde:

- a. **Start_event** – inicia a execução das acções descritas nas *action_list*;
- b. **Stop_event** – termina a execução de *Scenario tuple*;
- c. **Action_list** – representa a lista das acções de apresentação sincronizada que terão lugar quando o *scenario tuple*, ficar activo;

- d. **Synch_event** - refere-se aos eventos *star_event* e *stop_event*, pois ambos podem ser utilizados para efeitos de sincronização.

O objectivo final de um documento multimédia consiste em ser apresentado de acordo com os requisitos especificados pelo autor. Para tal, as acções necessárias à apresentação de objectos média dependentes do tempo são definidas utilizando os operadores TAC (*Temporal Access Control*) [Mirbel et al., 1999a]. A Tabela 1 ilustra o conjunto de acções que podem ser aplicados aos objectos média de acordo com o seu estado. A execução destas acções devem obedecer a determinadas restrições como ilustrado na Tabela 1 pois não faz sentido, por exemplo, parar a apresentação de um objecto média que não está activo.

Tabela 1 - Operadores *Temporal Access Control* (TAC)

Operação	Notação	Restrição
Start	>	Não tem restrições
Stop	!	O objecto média tem de estar activo ou suspenso.
Pause		O objecto média tem de estar activo.
Resume	>	O objecto média tem de estar suspenso.

Por exemplo, a expressão " $\Lambda > 4! B < 0 > C$ " composta por operadores TAC especifica uma apresentação de três objectos média designados por "A", "B" e "C". A apresentação do objecto média "A" inicia-se 4 unidades de tempo antes do objecto média "B" parar a sua apresentação em simultâneo com o início da apresentação do objecto média "C".

Durante a apresentação de um objecto média são gerados eventos temporais, nomeadamente o evento que representa o fim da apresentação (" $<$ ") do objecto média, que devemos distinguir do evento produzido pelo operador TAC (" $!$ ") que significa a paragem da apresentação do objecto média. Desta forma, a duração da apresentação (d_A) de um objecto multimédia "A" é definida como sendo o intervalo de tempo entre os eventos temporais " $\Lambda >$ " (início da apresentação) e " $\Lambda <$ " (fim da apresentação).

Propriedades de Consistência Identificadas

A consistência de um cenário de um documento multimédia é assegurada pela aplicação de verificações a três níveis:

1. Nível do **objecto média** onde um conjunto de condições e restrições têm de ser asseguradas para que as acções aplicadas a um objecto não conduzam o objecto média a um estado temporal inconsistente;

2. Nível do *Scenario Tuple* onde é verificado se a sequência de eventos gerados pelas acções do *scenario tuple* são consistentes;

3. Nível do **cenário** onde são verificados os diversos percursos que a apresentação do documento multimédia pode seguir;

Esta metodologia adopta uma representação interna de cenários baseada em redes de restrições. Cada descrição de um cenário contém um conjunto de redes de restrições temporais que representam as restrições entre as diferentes operações executadas.

O primeiro passo desta metodologia é a criação (a partir dos *scenario tuples*) das redes denominadas por *Constraint Network Fragments* (cnfs). Estas redes permitem estruturar as restrições temporais entre os *Tuple events* e as *TAC events* de um cenário com o intuito de verificar a sua consistência temporal.

Durante a verificação da consistência de cada rede de restrições (cn - *Constraint Network*), podem ser encontrados eventos que não conduzam a um novo estado, neste caso os referidos eventos são registados e é gerado um aviso.

Após a verificação da consistência o autor pode pesquisar o conjunto de restrições do cenário, esta possibilidade permite informar o autor sobre o estado das restrições. Dependendo do resultado da pesquisa, o autor pode ser levado a alterar, criar ou melhorar as restrições de um cenário.

A partir da verificação da consistência, são detectados os diversos percursos de uma apresentação, estes poderão ser consistentes ou não. Se a inconsistência tiver origem na falta de especificação durante a autoria da duração da apresentação de um objecto média, poderá ser gerado a máxima duração possível de apresentação entre os dois eventos, garantindo assim a consistência da apresentação.

II.4.4. SISTEMA DE TRANSIÇÕES

As abordagens baseadas num sistema de transições para a verificação da consistência temporal de documentos multimédia, consistem em expressar as relações de sincronização utilizando para tal os meios disponibilizados por estas técnicas (Modelos formais baseados em extensões temporais de redes Petri ou baseados em Álgebra de Processos), e utilizar a sua semântica formal para permitir:

- a. Aplicar os métodos de simulação que consistem em analisar o comportamento dinâmico da apresentação de um documento multimédia;
- b. Aplicar os métodos que se baseiam principalmente na geração de um sistema de transições etiquetado subjacente (grafo de alcançabilidade), permitindo assim proceder a uma análise das propriedades de consistência lógicas e temporais do documento multimédia especificado.

Dentre as abordagens que utilizam as extensões temporais de rede Petri, temos o modelo OCPN (*Object Composition Petri Nets* [Little and Ghafoor, 1990]), RdPFT (*Réseaux de Petri à Flux Temporels* [Diaz and Sénac, 1994]) e RdPHFT (*Réseaux de Petri Hiérarchisés à Flux Temporels* [Sénac et al., 1995]), quanto a abordagens baseadas em Álgebra de Processos temos a Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS [Santos, 1999].

Um exemplo de uma abordagem que suporta a verificação da consistência em documentos multimédia baseada num sistema de restrições é a Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS [Courtiait and Oliveira, 1996]. Esta técnica foi utilizada no contexto desse trabalho de mestrado é descrita em mais pormenor no capítulo III.

II.5. CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou de forma resumida as principais linhas orientadores e as suas principais abordagens no que respeita ao suporte da verificação de inconsistências em DMI's. De forma resumida podemos concluir que:

1. **Projecção sobre o eixo dos tempos**
 - a. Os objectos médias são representados sobre uma linha temporal utilizando para tal intervalos fixos ou variáveis;
 - b. Têm um poder de expressão reduzido, são de difícil escalabilidade, possuem uma gestão temporal complexa;
2. **Programação linear**
 - a. A verificação da consistência depende da resolução de um problema de minimização de custos (simplex) sujeita a restrições;
 - b. Uma solução consistente consiste no escalonamento da apresentação;

- c. No caso do sistema Firefly as restrições são definidas à base de diferenças (ex $x - y < b$);
- d. Cada objecto possui uma duração óptima e um custo associado ao ajuste dessa mesma duração;
- e. Um documento é considerado inconsistente quando não é possível encontrar uma solução para a função que respeite as restrições;
- f. O desempenho da função é fraco e não é suportado a verificação incremental;

3. Grafo de restrições

- a. Utilizam uma estrutura de grafos orientados para a verificação da inconsistência;
- b. Suporta a autoria e verificação incremental;
- c. Suportam interacções com o utilizador;
- d. Verificam a existência de soluções válidas;

4. Sistema de transições (caso RT-LOTOS)

- a. RT-LOTOS é uma Técnica de Descrição Formal baseada em Álgebra de Processos
- b. Possibilita a especificação de um sistema complexo seguindo uma abordagem à base de restrições;
- c. Permite o escalonamento da apresentação tendo em conta o não determinismo dos objectos média;
- d. Suporta a interacção do utilizador;
- e. Possui uma característica composicional que permite modelar cenários complexos pela composição sucessiva de comportamentos mais simples;
- f. Tem associado técnicas formais de verificação da consistência, que possibilitam a detecção de inconsistências qualitativas, quantitativas e físicas (se estas fizerem parte da especificação);

De seguida apresentamos na Tabela 2 um resumo comparativo das principais características das abordagens analisadas no que respeita ao suporte à verificação de inconsistências.

Tabela 2 - Suporte à verificação das abordagens analisadas

Abordagem	Projecção ¹	Programação ²	Grafo ³	Transições ⁴
	CMIFed	Firefly	MADEUS	RT-LOTOS
Verificação Automática da consistência	√	√	√	
Suporta durações de objectos não determinísticos	√	√	√	√
Suporta interacções do utilizador	Através de hyperlink	√	√	√
I. Quantitativas	Não existem	√	√	√
I. Qualitativas	√	√	√	√
I. Físicas	√	√		Dependente da especificação
Processo interactivo	√		√	
Processo incremental	√		√	√
Estrutura de Controlo	Árvore	Rede de restrições	Grafo	Grafo
Diagnóstico				
Mensagens/ Avisos	√	√	√	
Correcção automática		√	√	
Ajustamentos na duração		√	√	
Ajustamentos nas restrições		√		

A Tabela 2 apresenta as principais características da abordagem baseada em RT-LOTOS antes da conclusão deste trabalho. No entanto, no capítulo VII. serão apresentadas as contribuições desta dissertação, de forma a ilustrar as características que foram adicionadas à abordagem baseada em RT-LOTOS.

¹ Projecção sobre o eixo dos tempos

² Programação Linear

³ Grafo de Restrições

⁴ Sistema de transições

III. ABORDAGEM FORMAL: RT-LOTOS

“...man will occasionally stumble over the truth, but usually manages to pick himself up, walk over or around it, and carry on.”

Churchill, Winston S.

III.1. INTRODUÇÃO

O reconhecimento da importância das técnicas de especificação formal tem aumentado. A especificação formal é útil durante todo o processo de desenvolvimento (especificação, verificação, implementação e testes) de um sistema afim de eliminar as ambiguidades e validar (através da simulação e da verificação) um certo número de propriedades do sistema que devido ao nível da concorrência existente e do grande número de interações entre os diversos componentes tornam-se difíceis de gerir e controlar.

O objectivo deste capítulo é o de apresentar os princípios básicos utilizados no desenho formal de Documentos Multimédia Interactivos utilizando a TDF RT-LOTOS [Courtiat et al., 1995]. Para isso, primeiro apresentamos as principais características de LOTOS e RT-LOTOS, e o seu conjunto de ferramentas RTL [RTL]. Este conjunto de ferramentas permite realizar a simulação e a verificação de um sistema de tempo real a partir da sua respectiva especificação RT-LOTOS. Em seguida, caracterizamos os tipos de inconsistências existentes, e apresentamos as propriedades de consistência, definidas em [Santos, 1999], utilizadas neste trabalho para o diagnóstico de consistência de DMI's.

Este capítulo está organizado da seguinte forma: a secção III.2. apresenta a linguagem LOTOS; a secção III.3. apresenta a Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS; a secção III.4 apresenta o conjunto de ferramentas RTL e o grafo mínimo de alcançabilidade; na secção III.5 apresentamos as propriedades de consistência formal verificadas pelo método definido baseado na TDF RT-LOTOS; na secção III.6 apresentamos uma breve conclusão sobre o capítulo.

III.2. LOTOS

A Linguagem LOTOS (*Language of Temporal Ordering Specification*) é uma Técnica de Descrição Formal (TDF) que se tornou norma ISO em 1988 [ISO-8807]. A TDF LOTOS baseia-se no conceito que todo o sistema pode ser expresso através das relações de interacção observáveis do seu comportamento.

O sistema descrito pela TDF LOTOS é visto como um processo que se subdivide em sub-processos. O sistema é organizado como uma estrutura hierárquica de processos em que o

processo principal é depois subdividido consecutivamente até um nível de complexidade aceitável. Um processo é então uma entidade capaz de realizar acções internas (não observáveis de fora do sistema) e de interagir com outros processos formando assim um ambiente de execução.

A TDF LOTOS implementa o paradigma de caixa negra, tornando assim possível o desenvolvimento de especificações abstractas e concisas de sistemas complexos. A definição dos processos é descrita pela utilização de expressões de comportamento construídas a partir de um conjunto reduzido mas robusto de operadores ilustrados na Figura 8 e descritos em [Courtiat et al., 2000], dando assim a possibilidade de expressar comportamentos mais complexos.

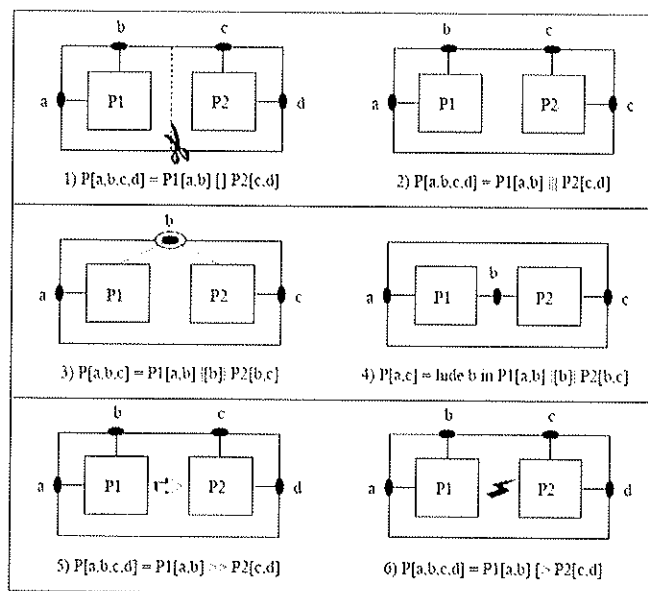


Figura 8 - Operadores LOTOS

A Figura 8 ilustra um subconjunto de operadores da TDF LOTOS onde os processos interagem entre si apenas pela pura sincronização sem que para tal troquem qualquer valor. Segue-se uma breve descrição dos principais operadores dos processos:

- 1) **Choice**: apenas um dos processos $P1[a,b]$ ou $P2[c,d]$ pode ser executado. A escolha do processo a executar depende apenas do ambiente de execução;
- 2) **Parallel composition without synchronization**: os processos $P1[a,b]$ e $P2[c,d]$ são executados de forma independente;
- 3) **Parallel composition with synchronization on action "b"**: os processos $P1[a,b]$ e $P2[b,c]$ são executados de forma independente, excepto quando ocorre a acção "b" em que os dois processos devem sincronizar;

- 4) *Parallel composition with synchronization on the hidden action "b"*: os processos $P1[a,b]$ e $P2[b,c]$ são executados de forma independente, excepto quando ocorre a acção "b" em que os dois processos devem sincronizar, estando a acção "b" neste caso apenas disponível internamente ao processo P, não sendo possível qualquer sincronização entre o ambiente externo e o processo P através da acção "b";
- 5) *Sequential composition*: o processo $P2[c,d]$ é executado assim que o processo $P1[a,b]$ termine a sua execução;
- 6) *Disrupt*: o processo $P1[a,b]$ pode ser interrompido em qualquer altura da sua execução pela ocorrência do processo $P2[c,d]$.

A TDF LOTOS tem sido amplamente utilizada na especificação de sistemas distribuídos e protocolos de comunicação. No entanto, esta TDF não permite quantificar a noção de tempo nesses sistemas. Por essa razão várias extensões temporais ao LOTOS foram propostas, tais como TIC-LOTOS [Quemada 1987], LOTOS-T [Miguel 1992], T-LOTOS e U-LOTOS [Bolognesi 1991], TLOTOS [Leduc 1992], Time LOTOS e FT-LOTOS [Leduc, Léonard 1993-94], TE-LOTOS [Leduc, Léonard, Quemada, Miguel et al., 1995], LOTOS/T [Nakata 1993], RT-LOTOS [Courtiait 1993] e E-LOTOS [ISO/IEC 15437:2001].

Dentre essas TDF's, a Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS foi adoptada para a especificação e verificação de DMI's uma vez que o trabalho apresentado nessa dissertação de mestrado foi realizado no contexto de um projecto maior que visa o desenho formal de DMI's baseado na TDF RT-LOTOS, desenvolvido no LAAS-CNRS. RT-LOTOS é discutida na próxima secção.

III.3. TÉCNICA DE DESCRIÇÃO FORMAL RT-LOTOS

A Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS apresentada em [Courtiait et al., 2000] é uma extensão temporal da linguagem de especificação formal LOTOS [ISO-8807]. RT-LOTOS é baseada em álgebra de processos e permite especificar comportamentos e restrições dependentes do tempo herdando ao mesmo tempo as características da linguagem LOTOS (expressão de processos concorrentes, sincronização, escolha do nível de abstracção, etc). RT-LOTOS permite expressar restrições dependentes do tempo, recorrendo a operadores próprios ilustrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Operadores Temporais RT-LOTOS

Operadores Temporais	Descrição
Delay(t)	Atraso de tempo determinístico (t)
Latency(t)	Atraso de tempo não determinístico (t)
$\Delta\{t\}$	Oferta limitada de evento (normalmente para sincronização)

As restrições temporais definidas para a TDF RT-LOTOS consistem essencialmente em retardar a ocorrência de eventos (noção de duração temporal), especificar o não determinismo temporal e limitar o tempo de oferta de sincronização de um evento com o ambiente envolvente. As acções observáveis são assumidas como não urgentes visto não ser possível forçar a sua ocorrência por dependerem do ambiente externo [Courtia et al., 2000].

Os comportamentos resultantes da aplicação dos operadores sobre as acções e as expressões RT-LOTOS são ilustrados na Figura 9 tendo como base o eixo dos tempos [Courtia and Oliveira, 1996].

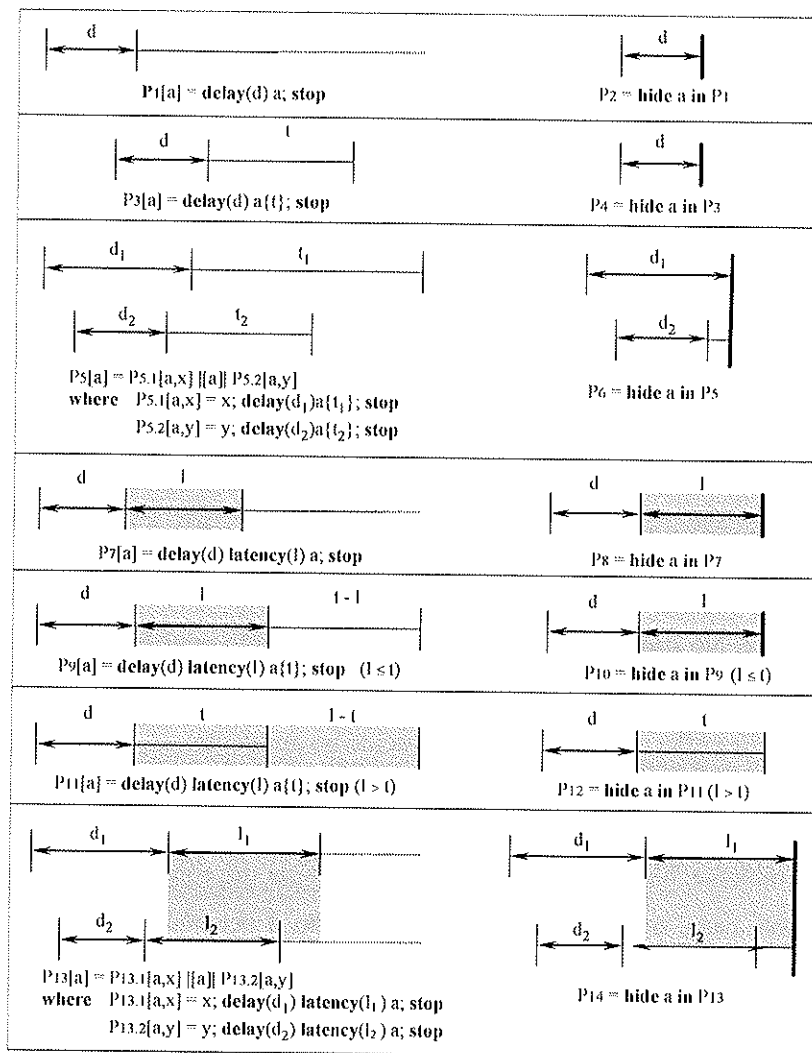


Figura 9 - Ilustração temporal dos operadores RT-LOTOS

Segue-se a descrição dos processos ilustrados na Figura 9 de forma a percebermos o comportamento das restrições temporais que suportam os operadores temporais RT-LOTOS apresentados na Tabela 3:

1. **Delay:** No processo P1 a possível ocorrência da acção "a" é atrasada pelo tempo "d";
2. **Delay and Hiding:** No processo P2 a acção "a" é omitida ao ambiente externo ao processo P2, ou seja, comporta-se como uma acção interna e deixa de estar dependente do ambiente externo de execução;
3. **Delay and Time Restriction:** Ao processo P3 é adicionada uma restrição temporal à acção "a" de tal forma que está só será oferecida por "t" unidades de tempo após a sua activação. Se por alguma razão a acção "a" não puder ocorrer, será gerada uma violação temporal que transformará a execução do processo P3 em **stop**;
4. **Delay, Time Restriction and Hiding:** No processo P4 a acção "a" é omitida do ambiente de execução envolvente, como no processo P2;
5. **Delay, Time Restriction and Synchronization:** O processo P5 representa a sincronização de dois processos (P5.1 e P5.2). Se a acção "a" ocorrer, será no período que corresponde à intersecção dos intervalos resultantes das restrições temporais associadas a acção "a" em cada um dos processos (P5.1 e P5.2) que compõem o processo P5. Se os intervalos forem disjuntos, será produzida uma violação temporal independente do ambiente envolvente e a acção "a" não será executada;
6. **Delay, time restriction, synchronization and hiding:** O processo P6 representa as mesmas restrições aplicadas ao processo P5, em que a acção "a" é omitida do ambiente de execução envolvente, como consequência a acção "a" será executada de forma urgente se a intercepção dos intervalos não for vazio;
7. **Latency:** No processo P7 a acção "a" é inicialmente retardada pelo tempo "d", depois é oferecida ao ambiente de execução envolvente pelo tempo "l", se a acção "a" não se produzir então continuará a ser oferecido ao ambiente;
8. **Latency and hiding:** O processo P8 é igual ao processo P7 em que a acção "a" é omitida ao ambiente. Neste caso a acção "a" é executada durante um intervalo de tempo $[d, d+l]$, e neste caso, o não determinismo associado à ocorrência da acção "a" não depende exclusivamente do ambiente externo;
9. **Delay, time restriction and latency:** No processo P9 são combinados três operadores de RT-LOTOS. Neste caso, a acção "a" é retardada pelo tempo "d", depois é

Segue-se a descrição dos processos ilustrados na Figura 9 de forma a percebermos o comportamento das restrições temporais que suportam os operadores temporais RT-LOTOS apresentados na Tabela 3:

1. **Delay:** No processo P1 a possível ocorrência da acção "a" é atrasada pelo tempo "d";
2. **Delay and Hiding:** No processo P2 a acção "a" é omitida ao ambiente externo ao processo P2, ou seja, comporta-se como uma acção interna e deixa de estar dependente do ambiente externo de execução;
3. **Delay and Time Restriction:** Ao processo P3 é adicionada uma restrição temporal à acção "a" de tal forma que está só será oferecida por "t" unidades de tempo após a sua activação. Se por alguma razão a acção "a" não puder ocorrer, será gerada uma violação temporal que transformará a execução do processo P3 em **stop**;
4. **Delay, Time Restriction and Hiding:** No processo P4 a acção "a" é omitida do ambiente de execução envolvente, como no processo P2;
5. **Delay, Time Restriction and Synchronization:** O processo P5 representa a sincronização de dois processos (P5.1 e P5.2). Se a acção "a" ocorrer, será no período que corresponde à intersecção dos intervalos resultantes das restrições temporais associadas a acção "a" em cada um dos processos (P5.1 e P5.2) que compõem o processo P5. Se os intervalos forem disjuntos, será produzida uma violação temporal independente do ambiente envolvente e a acção "a" não será executada;
6. **Delay, time restriction, synchronization and hiding:** O processo P6 representa as mesmas restrições aplicadas ao processo P5, em que a acção "a" é omitida do ambiente de execução envolvente, como consequência a acção "a" será executada de forma urgente se a intercepção dos intervalos não for vazio;
7. **Latency:** No processo P7 a acção "a" é inicialmente retardada pelo tempo "d", depois é oferecida ao ambiente de execução envolvente pelo tempo "l", se a acção "a" não se produzir então continuará a ser oferecido ao ambiente;
8. **Latency and hiding:** O processo P8 é igual ao processo P7 em que a acção "a" é omitida ao ambiente. Neste caso a acção "a" é executada durante um intervalo de tempo [d,d+l], e neste caso, o não determinismo associado à ocorrência da acção "a" não depende exclusivamente do ambiente externo;
9. **Delay, time restriction and latency:** No processo P9 são combinados três operadores de RT-LOTOS. Neste caso, a acção "a" é retardada pelo tempo "d", depois é

eventualmente oferecida ao ambiente pelo tempo de "l" mas com um tempo de oferta limitado a "t" com $l \leq t$. O comportamento deste processo é análogo ao processo P3.

10. **Delay, time restriction, latency and hiding:** O processo P10 é equivalente ao processo P9 com a diferença que neste a acção "a" é omitida do ambiente externo do processo. O comportamento deste processo é análogo ao processo P8 visto a acção "a" ser executada no período [d, d+l];
11. **Delay, time restriction and latency:** O processo P11 é ainda equivalente ao processo P9 considerando que $l > t$. Neste caso a acção "a" poderá ser executada no período [d, d+l];
12. **Delay, time restriction, latency and hiding:** O comportamento do processo P12 é equivalente ao comportamento do processo P11 se omitirmos a acção "a" do ambiente. A acção interna - l(a) - poderá não se produzir se esta não se verificar antes do fim do período de oferta [d, d+l];
13. **Delay, latency and synchronization:** No processo P13 tal como ocorreu no processo P5, se a acção "a" ocorrer será no período que corresponde à intercepção dos intervalos resultantes das restrições temporais associadas a acção "a" em cada um dos processos que compõem o processo P13. Se os intervalos forem disjuntos será produzida uma violação temporal independente do ambiente envolvente e a acção "a" não será executada;
14. **Delay, latency and synchronization:** O processo P14 é equivalente ao processo P13 em que a acção "a" foi omitida do ambiente de execução envolvente;

Em resumo RT-LOTOS fornece vários operadores temporais com o intuito de:

1. Atrasar a ocorrência das acções internas ou observáveis (operador *Delay*);
2. Expressar a duração do não determinismo de uma acção (operador *Latency*);
3. Limitar o tempo em que uma acção observável é oferecida ao seu ambiente de execução (operador $\Lambda\{t\}$);
4. Medir e armazenar numa variável, que poderá ser depois referenciada na especificação o tempo em que as acções ocorreram;
5. Associar um mecanismo de recuperação de uma violação temporal para algumas acções observáveis da especificação.

A TDF RT-LOTOS propõe a verificação semântica da apresentação de documentos multimédia interactivo de forma a ser possível analisar se o sistema em questão se comporta ou não como o esperado pelo autor.

III.4. O AMBIENTE RTL

A verificação das propriedades de um sistema pode ser conseguida pela análise da representação do comportamento global da especificação desse mesmo sistema utilizando para tal um sistema de transições etiquetado derivado de uma especificação RT-LOTOS. O conjunto de ferramentas RTL (*Real-Time LOTOS Laboratory*) [RTL] permite a análise de sistemas descritos em RT-LOTOS utilizando duas técnicas básicas: A simulação e a verificação.

A simulação permite analisar os resultados associados à especificação global do sistema, e a verificação permite provar que uma determinada propriedade pode ser verificada sobre a especificação do sistema.

A principal vantagem da simulação é que esta permite a execução rápida de diferentes cenários visto não ser necessário comparar um estado acessível com todos os estados precedentes. Este sistema facilita a análise de especificações complexas (para detectar situações de bloqueio ou comportamentos inesperados durante a apresentação). No entanto, a simulação não pode ser considerada como uma prova formal de consistência, visto não existirem garantias que o espaço de estados envolvidos seja coberto completamente pela simulação.

A verificação, por seu lado, permite a análise completa do sistema especificado em RT-LOTOS. O objectivo da verificação utilizando o ambiente RTL consiste em descrever e analisar o comportamento global de um sistema baseando-se para tal num grafo denominado *Grafo Mínimo de Alcançabilidade*. O grafo de alcançabilidade pode ser obtido directamente a partir da especificação RT-LOTOS, ou indirectamente a partir de um modelo intermediário no qual a especificação RT-LOTOS é traduzida como ilustrado na Figura 10.

A especificação do grafo mínimo de alcançabilidade foi gerada tendo em conta dois objectivos [Courtiat and Oliveira, 1995]:

- a. **Minimizar o número de relógios** em cada estado de controlo do autómato temporal, devido ao novo modelo de autómato temporal denominado por *Dynamic Temporal Automaton* (DTA);
- b. Executar a **análise de alcançabilidade** aquando da geração do grafo DTA a partir da especificação RT-LOTOS;

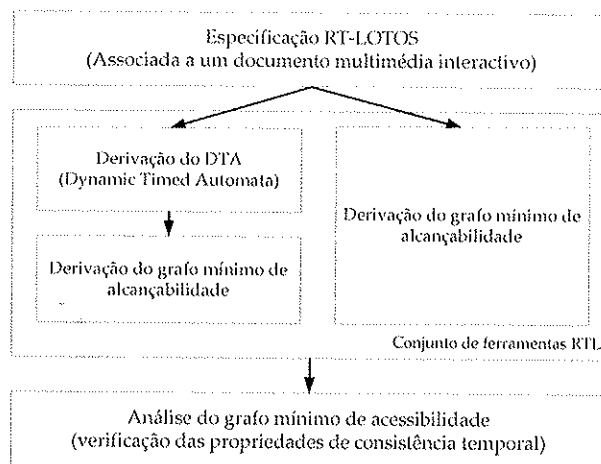


Figura 10 - Abordagem para a análise de DMI's

Ambas as vantagens são importantes do ponto de vista prático, visto a complexidade dos algoritmos de verificação desenvolvidos para autómatos temporais depender directamente do número de relógios [Courtial et al., 2000].

A verificação das propriedades de consistência temporal de um DMI baseado num grafo mínimo de alcançabilidade é descrita na secção III.4.1, onde as propriedades de consistência temporal são expressas baseadas nas propriedades de acessibilidade definidas no grafo. A análise de alcançabilidade de uma especificação RT-LOTOS inicia-se com a geração de um grafo DTA (*Dynamic Time Automata*) [Sadani et al., 2005a] de onde é derivado o grafo mínimo de alcançabilidade. Este poderá também ser directamente derivado da especificação RT-LOTOS como ilustrado na Figura 10.

III.4.1. GRAFO MÍNIMO DE ALCANÇABILIDADE

Os autómatos temporais foram criados com o propósito de modelar sistemas de estados finitos de tempo real. Cada autómato temporal é constituído por um conjunto de estados finitos e por um conjunto de relógios que avançam ao mesmo tempo e medem o tempo decorrido desde que foram iniciados ou reiniciados a zero. Cada transição do sistema pode reiniciar alguns dos relógios e tem associado uma condição de activação expressa como um conjunto de valores atribuíveis aos relógios [Courtial and Oliveira, 1995].

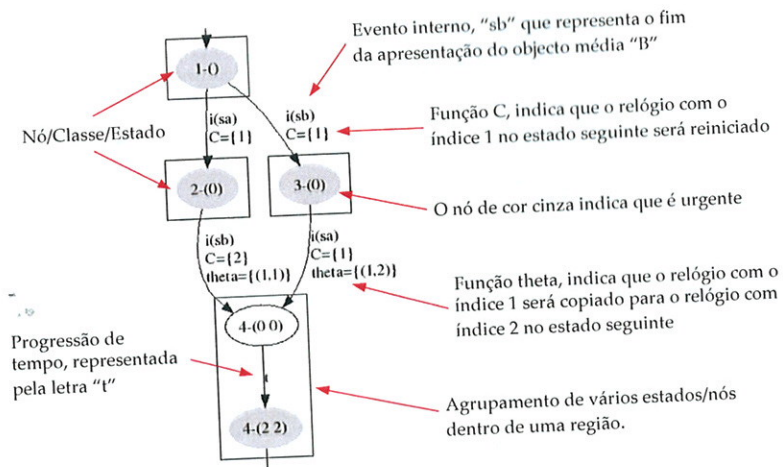


Figura 11 - Ilustração parcial de um Grafo mínimo de Alcançabilidade

O grafo mínimo de alcançabilidade (Reachability Graph ou RG em inglês), ilustrado na Figura 11 consiste num sistema de transições etiquetado LTS (*Labeled Transition System*) resultado da minimização de um modelo de autómato temporal chamado *Dynamic Timed Automaton* (DTA) apresentado em [Courtiat and Oliveira, 1995]. Este grafo é constituído por:

- Nós (também chamados de classes ou estados), cujo detalhe se ilustra na Figura 12 define um estado de controlo e uma região (representada por um rectângulo) cuja dimensão é igual ao número de relógios do estado de controlo. As configurações pertencentes à mesma região têm as mesmas propriedades de alcançabilidade visto não puderem ser diferenciadas em termos de acções futuras que possam ocorrer. Uma classe é uma representação finita de um número infinito de configurações;

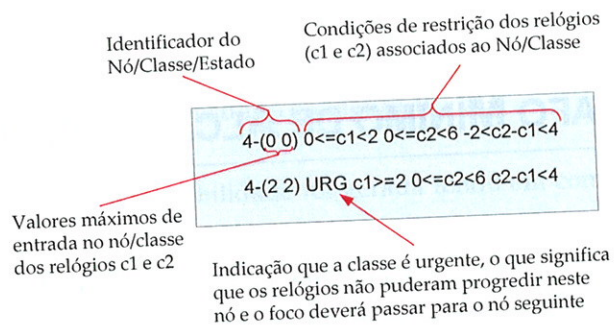


Figura 12 - Detalhe do Nó de um Grafo Mínimo de Alcançabilidade

- **Transições (ou arcos)**, cujo detalhe se ilustra na Figura 13, correspondem à ocorrência de uma acção da especificação RT-LOTOS ou a uma progressão de tempo (transição etiquetada com a letra "t"). A acção (também chamada de evento ou acontecimento), pode simbolizar o início ou fim da apresentação de um objecto média (prefixados respectivamente pelas letras "s" e "e"), uma interacção com o utilizador (user), acções

utilizadas para dar suporte à hiper-navegação em um DMI (links) ou a simples progressão do tempo (t), como ilustrado na Figura 11 e Figura 13.

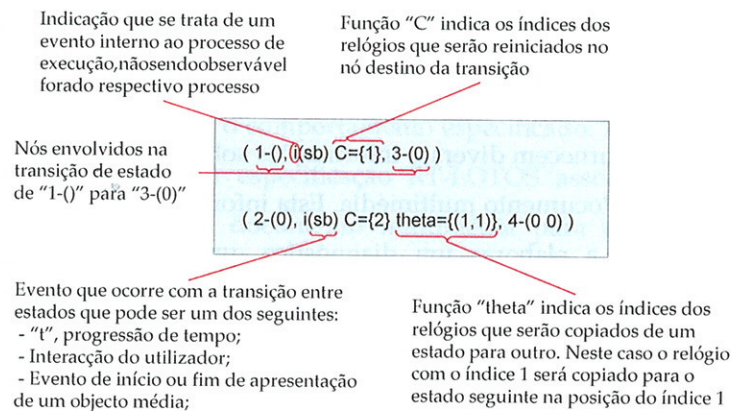


Figura 13 - Detalhe da transição de um Grafo mínimo de Alcançabilidade

Algumas características de um grafo mínimo de alcançabilidade:

- É um **autômato temporal etiquetado**;
- **Distingue acções urgentes** de acções não urgentes de uma especificação;
- Associa um **número variável de relógios**, necessários a cada estado de controlo;
- Resulta da derivação do DTA utilizando o conjunto de ferramentas RTL [Sadani et al., 2005b];

Devido ao algoritmo de minimização, nem todas as configurações de uma classe são acessíveis da configuração inicial. No entanto, é possível provar que pelo menos uma configuração por classe é acessível [Lohr and Courtiat, 2002].

Este autômato temporal foi introduzido com o intuito de aumentar o poder dos autômatos finitos e para permitirem a especificação e verificação de modelos de sistemas dependentes do tempo [Santos, 1999]. Esta verificação pode ser realizada analisando a representação do comportamento global da especificação do sistema. O problema está na dimensão e complexidade do autômato [Sampaio et al., 2001].

No entanto, a análise do grafo mínimo de alcançabilidade permite-nos identificar algumas características de um sistema dependente do tempo, nomeadamente:

- A **sequência de eventos** que ocorre em cada um dos seus possíveis percursos;
- O **intervalo de tempo** em que cada um dos eventos pode ocorrer num determinado percurso;

- Derivar a progressão absoluta do tempo ao longo de um percurso;
- No caso particular de um documento multimédia, Identificar objectos média que bloquearam durante a execução de um percurso inconsistente, visto terem sido iniciados mas não terminados;

Estas características fornecem diversas informações sobre o que poderá ocorrer em particular na apresentação de um documento multimédia. Esta informação pode ainda ser reunida, analisada e tratada de forma a elaborar um diagnóstico que informe o autor de um documento multimédia sobre a consistência temporal do seu documento ou sobre o comportamento de percursos de apresentação em específico.

É baseado na análise do grafo mínimo de alcançabilidade que pretendemos realizar a nossa abordagem para a verificação, análise e diagnóstico das propriedades de consistência temporal de um DMI. Na secção seguinte passamos a caracterizar os tipos de inconsistências que poderão ocorrer durante a apresentação de um DMI.

III.5. VERIFICAÇÃO DE CONSISTÊNCIA DE DMI'S

A apresentação correcta de um documento multimédia interactivo depende do respeito pelas restrições de sincronização temporal estabelecidas entre os objectos média do documento multimédia e pela consistência estrutural entre elas.

De uma forma geral, garantir a consistência temporal de um documento multimédia significa garantir que as restrições temporais associadas aos objectos média de um documento multimédia estão correctamente definidas e podem ser satisfeitas em tempo de execução da apresentação do respectivo documento multimédia [Santos, 1999].

As inconsistências temporais podem ser classificadas como qualitativas ou quantitativas e podem ser a consequência de restrições descritas por arcos de sincronização (que colocam em causa a estrutura do documento multimédia), eventos não determinísticos internos, eventos não determinísticos externos ou a duração determinística incompatível dos objectos média.

Podemos considerar um documento temporalmente consistente de acordo com a metodologia para o desenho de DMI's baseada em RT-LOTOS:

“Um documento multimédia diz-se consistente se a acção que representa o fim da apresentação de um documento multimédia (acção end) é alcançável a partir da acção inicial que representa o início da

apresentação (acção start) do grafo mínimo de alcançabilidade associado a uma especificação RT-LOTOS" [Courtiaat and Oliveira, 1996].

No entanto, para podermos verificar a consistência de um sistema tendo por base a TDF RT-LOTOS é necessário primeiro transformar o comportamento global desse sistema num sistema de transições etiquetado que represente o comportamento especificado. Para isso, utilizamos o conjunto de ferramentas RTE sobre a especificação RT-LOTOS associada à descrição do comportamento lógico e temporal do documento multimédia para a geração dos grafos necessários para a análise de consistência. Em particular, as propriedades de consistência temporal de um documento multimédia poderão ser verificadas analisando os resultados obtidos pela análise de alcançabilidade sobre o respectivo *Grafo Mínimo de Alcançabilidade* [Courtiaat and Oliveira, 1995].

Para ilustrarmos a noção de consistência temporal, consideremos o cenário ilustrado na Figura 14 que representa uma apresentação paralela de dois objectos média e o respectivo grafo mínimo de alcançabilidade ilustrado na Figura 15.

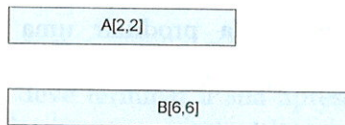


Figura 14 - Apresentação paralela de dois objectos média

A apresentação é composta pelos objectos média designados por "A" e "B" com as respectivas durações de [2,2] e [6,6] apresentados de forma paralela. Como podemos verificar pela ilustração do grafo mínimo de alcançabilidade na Figura 15, todos os percursos que partem da acção que representa o início (acção start) da apresentação conduzem após algum tempo ao fim (acção end) desta. Do ponto de vista da análise de alcançabilidade, isto significa que todos os percursos conduzem ao fim da apresentação do documento, o que implica que o documento multimédia também é temporalmente consistente.

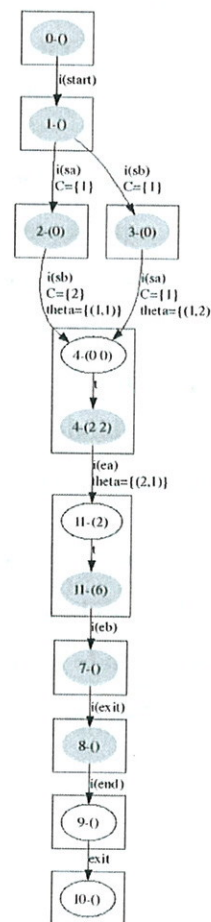


Figura 15- Grafo Mínimo de Alcançabilidade da Figura 14

De acordo com o anteriormente apresentado, seguem-se as definições das propriedades de consistência temporal [Sampaio et al., 2000]:

Definição 1. Um documento é consistente se todos os percursos do grafo mínimo de alcançabilidade que partem do nó inicial (nó *start*) de um documento multimédia, chegam após algum tempo ao nó que representa o fim (nó *end*) da apresentação do respectivo documento multimédia;

Definição 2. Um percurso do grafo mínimo de alcançabilidade é considerado temporalmente consistente se partindo do nó inicial (nó *start*) desse percurso (que equivale ao nó que corresponde ao início global da apresentação), chegamos após algum tempo ao nó que representa o fim (nó *end*) da apresentação desse mesmo percurso;

Baseados nas definições 1 e 2, poderemos afirmar que a estrutura de um documento é temporalmente consistente se todos os seus percursos (sabendo que cada possível percurso de execução do documento multimédia é uma possível solução de apresentação), forem também consistentes. Como consequência, o cumprimento das duas definições anteriores garante que todos os percursos do Grafo Mínimo de Alcançabilidade (ver Figura 15) de um documento, são passíveis de serem executados de forma consistente durante a sua apresentação.

No entanto, seguindo as definições acima enunciadas, um documento não sendo considerado temporalmente consistente poderá em alguns casos ainda produzir uma apresentação consistente. Ou seja, transferindo esta mesma situação para um Grafo Mínimo de Alcançabilidade, implica a existência de percursos consistentes e percursos inconsistentes, tornando a apresentação do documento consistente se for executado um percurso do Grafo Mínimo de Alcançabilidade consistente e inconsistente se for executado um percurso do Grafo Mínimo de Alcançabilidade inconsistente. O que nos leva à seguinte definição:

Definição 3. Um documento é potencialmente consistente se existe pelo menos um percurso do grafo de Alcançabilidade que partindo do nó inicial (nó *start*) desse percurso (que equivale ao nó que corresponde ao início global da apresentação), chegamos após algum tempo ao nó que representa o fim (nó *end*) da apresentação desse percurso [Sampaio et al., 2000];

Consideremos o cenário ilustrado na Figura 16, e o respectivo grafo mínimo de alcançabilidade ilustrado na Figura 17 que descrevem uma apresentação de dois objectos média em paralelo de forma que, os respectivos objectos média iniciem e terminem em simultâneo.

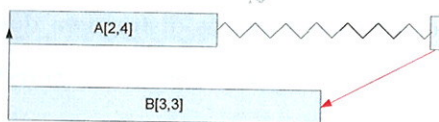


Figura 16 - Apresentação paralela de dois objectos média em paralelo

A apresentação é composta pelos objectos média designados por "A" e "B" com as respectivas durações de [2,4] e [3,3] apresentados de forma paralela. Como restrição de apresentação, o objecto média "A" deve iniciar a sua apresentação em simultâneo com o objecto média "B", e o objecto média "B" deve terminar a sua apresentação em simultâneo com o fim da apresentação do objecto média "A".

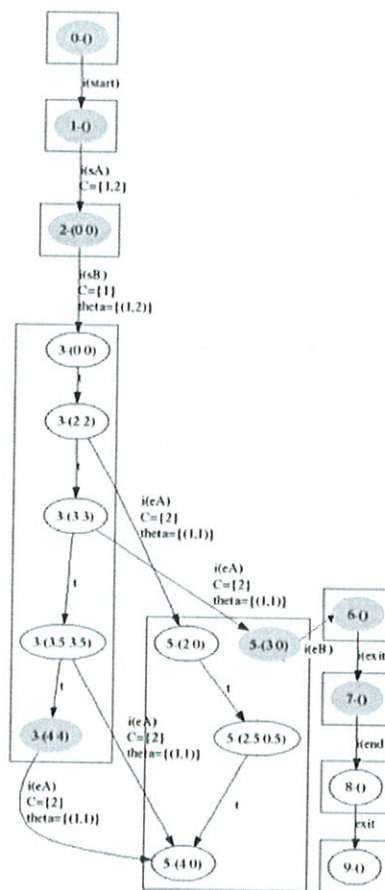


Figura 17 - Grafo Mínimo de Alcançabilidade da Figura 16

Como podemos verificar pela ilustração do grafo mínimo de alcançabilidade da Figura 17, existe apenas um percurso que partindo da acção que representa o início (acção *start*) da apresentação conduz após algum tempo ao fim (acção *end*) desta. Este percurso inclui as classes "0-()", "3-(3 3)", "5-(3 0)" e "9-()" e é o único considerado temporalmente consistente. Os restantes percursos são considerados temporalmente inconsistentes. Como a apresentação inclui percursos temporalmente inconsistentes e percursos temporalmente consistentes o documento multimédia no seu global é considerado *potencialmente consistente*. Podemos então concluir que:

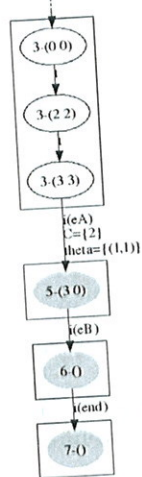
Definição 4. Um documento multimédia apenas é considerado temporalmente **inconsistente** se não existirem percursos consistentes no grafo de alcançabilidade associado ao documento multimédia, sendo neste caso impossível chegar ao fim da apresentação do respectivo documento multimédia;

Caso um documento multimédia se enquadre na **Definição 4**, implica que a estrutura lógica e temporal desse documento multimédia deve obrigatoriamente ser revista pelo seu autor para que este possa fornecer soluções (lógicas e temporais) válidas, ou seguir as indicações

fornechas num diagnóstico de suporte ao processo de autoria de documentos multimédia como é proposto na sequencia desta dissertação.

A ilustração que se segue na Figura 19(a)(b) representa parte do grafo mínimo de alcançabilidade do cenário ilustrado na Figura 16 e cujo grafo mínimo de alcançabilidade está ilustrado na Figura 17, tem por objectivo ilustrar um nó/classe potencialmente consistente. Este tipo de nó não se verifica em grafos temporalmente consistentes ou temporalmente inconsistentes, pois eles apresentam características especiais que os distinguem dos restantes, como ser origem de eventos que conduzem a percursos inconsistentes e consistentes ou potencialmente consistentes.

a)



b)

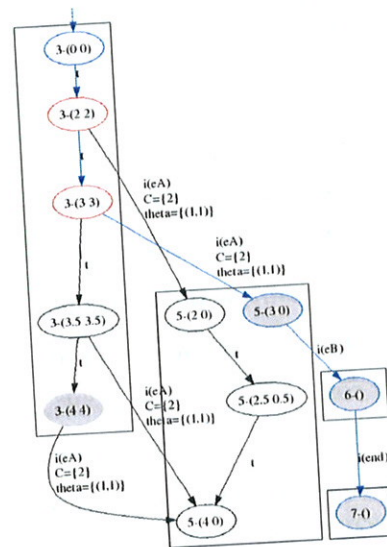


Figura 18 - Nó Potencialmente Consistente

Este tipo de nós/classes do grafo mínimo de alcançabilidade foram classificados como nós/classes potencialmente consistentes e as suas características foram reunidas na Definição 5, que se segue.

Definição 5. Um Nó é Potencialmente Consistente, se num grafo mínimo de alcançabilidade esse mesmo nó for origem de um percurso temporalmente inconsistente e ao mesmo tempo um percurso que não seja temporalmente inconsistente (seja temporalmente consistente ou potencialmente consistente).

Considerando o exemplo da Figura 18 (b) que ilustra parte do grafo mínimo de alcançabilidade ilustrado na Figura 17, podemos facilmente concluir que se trata de um documento potencialmente consistente, visto observarmos percursos consistentes (percurso que conduz à acção "end", que representa o fim da apresentação destacado pela cor azul) e percursos que conduzem a um bloqueio (neste caso representado pelo nó "5-(4 0)"). De uma forma prática, podemos identificar os nós potencialmente consistentes recorrendo à sobreposição do grafo mínimo de alcançabilidade consistente (ilustrado parcialmente na Figura 18(a)) com o grafo

mínimo de alcançabilidade (ilustrado na Figura 17). O resultado é o ilustrado na Figura 18(b), onde podemos observar os percursos temporalmente consistentes assinalados de cor azul e os inconsistentes de cor preta. Os nós potencialmente consistentes (de cor vermelha), são os únicos que têm pelo menos uma transição de cor azul e outra de cor preta.

III.6. CONCLUSÃO

O objectivo deste capítulo foi o de apresentar a abordagem à Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS (secção III.3) e o seu conjunto de ferramentas RTL (secção III.4), bem como as suas capacidades na verificação das propriedades de consistência temporal (secção III.5) de um DMI.

Para tal realizamos uma breve abordagem na secção III.2 às origens (linguagem de descrição formal LOTOS) da Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS, e a caracterizamos na secção II.3, apresentando as seguintes vantagens em relação as outras abordagens:

- Fornece características importantes para expressar comportamentos dependentes do tempo, tais como os conceitos de atraso de tempo determinístico (*Delay*), atraso de tempo não determinístico (*Latency*), Oferta limitada ($A(t)$), medição do tempo, etc;
- É uma Técnica de Descrição Formal, o que significa que a especificação pode ser interpretada sem ambiguidade, visto esta interpretação assentar completamente na semântica formal da linguagem;
- Contém todas vantagens características da FDT LOTOS, isto é, facilidade de desenvolvimento de especificações a diferentes níveis de abstracção e de composição de especificação. Este aspecto é particularmente útil para o desenvolvimento de uma abordagem de desenho de blocos de especificações genéricas e reutilizáveis;
- Permite manipular tipos de dados que são formalmente interpretados como objectos matemáticos e implementados concretamente como tipos de dados em C++ no ambiente de RTL. Como consequência tipos de dados complexos como os encontrados em aplicações de tamanho real, podem ser especificados;

O grafo mínimo de acessibilidade (apresentado na secção III.4) derivado de uma especificação RT-LOTOS, é capaz de representar a estrutura temporal de um DMI e todos os seus possíveis comportamentos durante a apresentação.

Deste modo ao aplicamos ao grafo mínimo de alcançabilidade associado à especificação RT-LOTOS do documento multimédia, as técnicas de verificação das propriedades de consistência temporal definidas para a TDF RT-LOTOS é possível detectar todas as inconsistências (temporais, físicas ou lógicas) de um DMI.

No entanto, esta abordagem não produz qualquer resultado de forma automática. Por essa razão, o objectivo desta dissertação consiste em propor uma abordagem (descrita na secção IV.2) que cria um diagnóstico completo baseado na análise ao grafo mínimo de alcançabilidade e que informa o autor do documento sobre a consistência global do documento multimédia. Na secção seguinte vamos apresentar a abordagem para o diagnóstico às propriedades de consistência temporal de DMI's.

o RT-
ência
ncias

essa
ecção
idade
a. Na
es de

IV.2. Aço

COM

Uma

alguns

consistências

algorithm

be

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

algorithm

IV. DIAGNÓSTICO ÀS PROPRIEDADES DE CONSISTÊNCIA TEMPORAL DE DMI'S

An algorithm must be seen to be believed.

Donald Knuth

IV.1. INTRODUÇÃO

Um documento multimédia pode ser consideravelmente complexo, tendo em conta o aumento do número de objectos média (vídeo, áudio, texto...) envolvidos e as relações de sincronização entre esses mesmos objectos média. Por essa razão, a autoria de documentos multimédia mantém-se um desafio pois ao contrário do que acontece com um livro, um documento multimédia tem relações/restrições especificadas aquando da sua autoria que devem ser respeitadas durante a sua apresentação. Se essas relações não forem respeitadas, poderão surgir inconsistências (temporais, lógicas e físicas) que poderão bloquear a execução de um documento, ou levar a situações não previstas pelo autor aquando da sua autoria.

Daí a necessidade da aplicação de métodos para a verificação da consistência da apresentação de um documento multimédia, visto as verificações sintácticas garantirem apenas a conformidade estrutural do documento sem no entanto garantirem a conformidade da apresentação. Este facto torna necessária a verificação das propriedades de consistência para determinar a existência de potenciais percursos que conduzam a apresentação a uma situação de bloqueio ou comportamentos não especificados pelo autor.

O objectivo deste capítulo é o de apresentar uma abordagem à verificação formal das propriedades de consistência temporal de documentos multimédia, tendo como suporte a Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS e o seu conjunto de ferramentas RTL. Este conjunto de ferramentas permitirá numa primeira fase derivar uma especificação RT-LOTOS num grafo mínimo de alcançabilidade. Tendo por base a análise deste autómato, apresentamos uma abordagem para a verificação das propriedades de consistência temporal e a geração de um diagnóstico que apoie o autor durante o processo de autoria do seu documento multimédia.

Este capítulo está organizado da seguinte forma: na secção III.2. apresentamos a abordagem proposta neste documento para a verificação das propriedades de consistência temporal de documentos multimédia apoiando-se num grafo mínimo de acessibilidade; na secção III.3. apresentamos uma abordagem à estruturação da descrição de arcos de sincronização utilizando a linguagem XML [XML]; na secção III.4. apresentamos um algoritmo para a identificação dos intervalos de tempo absolutos da ocorrência de eventos num percurso do grafo mínimo de alcançabilidade; na secção IV.5 apresentamos a estrutura de um possível diagnóstico às propriedades de consistência de um DMI; na secção IV.6 apresentamos uma conclusão em jeito de resumo das principais contribuições deste capítulo.

IV.2. ABORDAGEM PROPOSTA PARA O DIAGNÓSTICO DA CONSISTÊNCIA DE DMI'S

Uma das características mais peculiares de um documento multimédia reside no facto dos objectos média que o compõem estarem fortemente dependentes das restrições temporais, lógicas e espaciais. Este facto leva-nos a um dos principais problemas dos sistemas multimédia, ou seja como modelar e verificar as restrições de sincronização de um documento multimédia, sem ao mesmo tempo retirar o poder de expressão ao autor.

Actualmente as ferramentas de edição de documentos multimédia minimizam a problemática da detecção e identificação de inconsistências temporais, levando a que os seus editores apresentem um número reduzido de operadores e relações. Limitando desta forma o poder de expressão por parte do autor e ao mesmo tempo o aparecimento de inconsistências, que se surgirem poderão ser facilmente identificadas pela própria estrutura do documento.

A abordagem aqui apresentada para a geração de um diagnóstico às propriedades de consistência de um documento multimédia, vai ao encontro às necessidades do autor de um DMI, pois a abordagem aqui apresentada não pretende limitar o autor a uma linguagem de descrição de DMI's e a geração de um diagnóstico também não limita o seu poder de expressão, apenas ajuda-o a consolidar oferecendo uma garantia de verificação à sua consistência.

A elaboração do diagnóstico aqui abordada, e proposta na metodologia apresentada no Capítulo 0, inicia-se com a tradução da descrição do documento multimédia interactivo para uma especificação RT-LOTOS. Esta especificação (RT-LOTOS) é posteriormente derivada num grafo mínimo de alcançabilidade contendo todos os percursos consistentes (percursos que apresentam soluções válidas de apresentação) e inconsistentes (percursos que conduzem a apresentação a bloqueios ou comportamentos estranhos), utilizando para tal o conjunto de ferramentas RTL.

O **grafo mínimo de alcançabilidade** representa todos os possíveis comportamentos (percursos consistentes e inconsistentes) de uma apresentação de um documento multimédia associado a uma especificação RT-LOTOS. O grafo mínimo de alcançabilidade pode ainda ser filtrado de forma a apresentar apenas os percursos (comportamentos) consistentes, eliminando os percursos inconsistentes do grafo, o qual será designado como **grafo mínimo de alcançabilidade consistente**.

Tendo por base o grafo mínimo de alcançabilidade e o grafo mínimo de alcançabilidade consistente, caso este exista, é iniciada uma análise sobre estes grafos cujos principais passos são

ilustrados na Figura 19. A elaboração do diagnóstico à consistência temporal do documento multimédia em análise é regida pelos passos que se seguem:

- 1) O primeiro passo consiste na **Identificação dos objectos média do documento multimédia** e do seu número. É necessário ter em conta que este passo apenas identifica os objectos média passíveis de serem apresentados (isto é, não é possível identificar todos os objectos média especificados num documento multimédia se a apresentação deste conduzir a uma situação de bloqueio, não estando assim representados todos os objectos média especificados no documento multimédia no respectivo grafo mínimo de alcançabilidade);

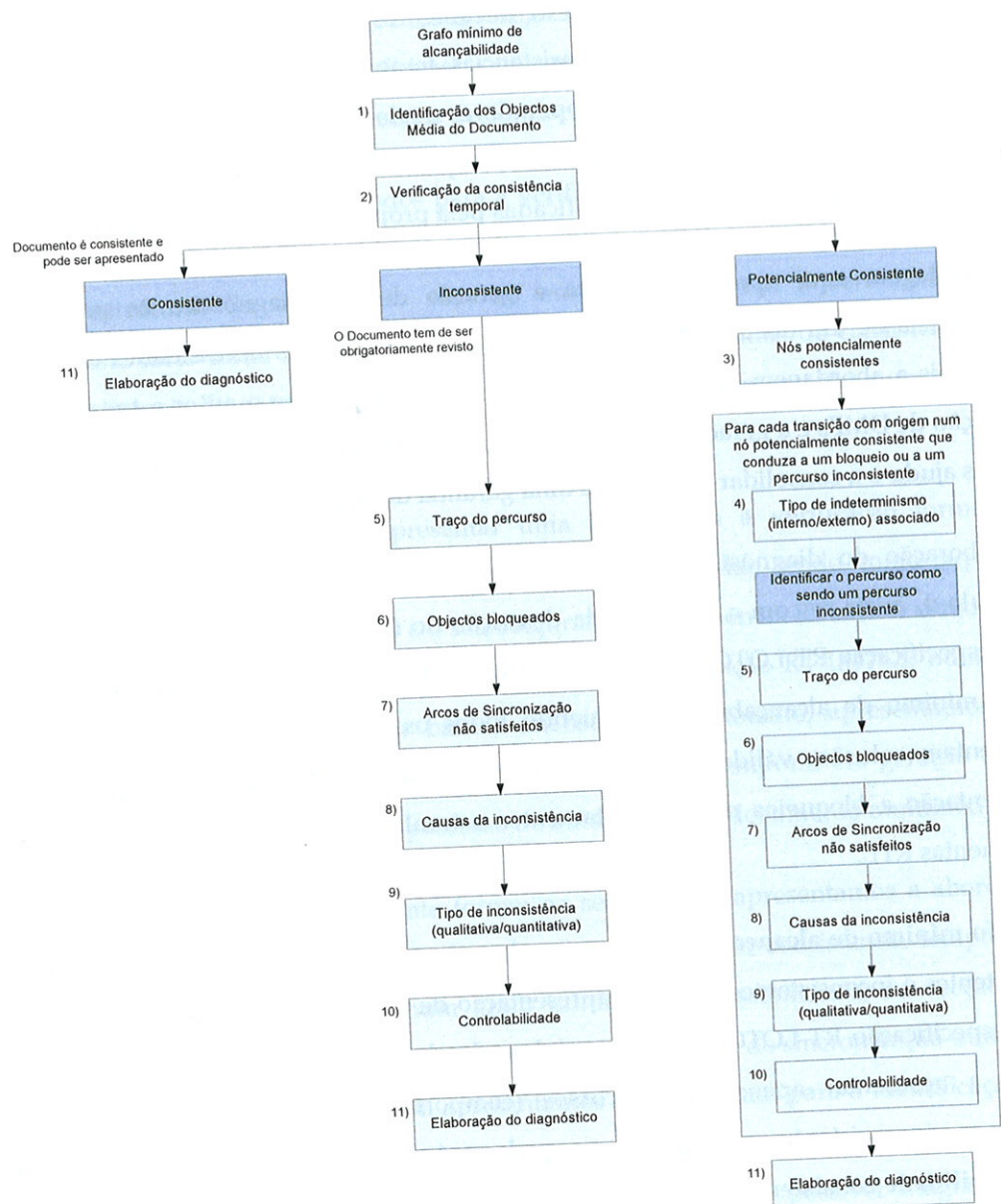


Figura 19 - Principais passos de análise para a geração do diagnóstico das propriedades de consistência temporal de um documento multimédia

2) **Análise das propriedades de consistência temporal sobre o grafo mínimo de alcançabilidade (utilizando para tal os métodos propostos para a Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS) e geração de um de três resultados possíveis:**

- a. Documento **Inconsistente**;
- b. Documento **Consistente**;
- c. Documento **Potencialmente Consistente**.

A forma encontrada para a realização desta verificação consiste na utilização do grafo mínimo de alcançabilidade com os percursos consistentes, de forma que:

- a. O documento multimédia é **inconsistente** se estiver nas condições descritas pela **Definição 4** apresentada no capítulo IV. , ou seja, não existem soluções válidas para a apresentação do documento multimédia, o que significa não ser possível derivar o grafo mínimo de alcançabilidade consistente da especificação RT-LOTOS;
- b. O documento multimédia é **consistente** se estiver nas condições descritas pela **Definição 1**, ou seja se for possível derivar o grafo mínimo de alcançabilidade consistente e este coincidir com o grafo mínimo de alcançabilidade, ambos derivados da especificação RT-LOTOS;
- c. O documento multimédia é **potencialmente Consistente** se estiver nas condições descritas pela **Definição 3**, ou seja se for possível derivar o grafo mínimo de alcançabilidade consistente da especificação RT-LOTOS e este não coincidir inteiramente com o grafo mínimo de alcançabilidade também derivado da especificação RT-LOTOS. Isto é, existem percursos no grafo mínimo de alcançabilidade que contém todos os percursos (consistentes e inconsistentes) que não estão representados no grafo mínimo de alcançabilidade filtrado apenas com os percursos consistentes;

3) **Identificação dos nós potencialmente consistentes** (descritos na Definição 5). Como o seu nome sugere, surgem apenas em apresentações potencialmente consistentes visto serem a origem de uma bifurcação entre percursos consistentes e percursos inconsistentes. Por questões práticas na identificação deste tipo de nó, recorre-se à sobreposição do grafo mínimo de alcançabilidade consistente com o grafo mínimo de alcançabilidade que inclui todos percursos (consistentes e inconsistentes). Os nós potencialmente consistentes são todos os nós que fazendo parte de um percurso consistente (o nó existe no grafo mínimo de alcançabilidade consistente), são também

origem de uma transição que conduz a um percurso inconsistente (que só existe no grafo mínimo de alcançabilidade que inclui todos os percursos consistentes e inconsistentes).

- 4) Cada transição com origem num nó potencialmente consistente e que conduza a um percurso inconsistente permite a **identificação da causa da inconsistência temporal**. Assim, se a transição em questão representar uma interacção do utilizador com um objecto média apresentado, temos a ocorrência de um evento associado a um não determinismo externo, se a transição representar um evento associado a um objecto média, ou represente uma progressão de tempo, temos a ocorrência de um evento associado a um não determinismo interno.
- 5) Os percursos do grafo mínimo de alcançabilidade inconsistentes são isolados e analisados separadamente com o intuito de percebermos de forma mais clara o motivo que levou ao aparecimento da sua inconsistência. Para isso, é realizada a **geração de um traço de execução, baseado no percurso inconsistente** em que se inclui a identificação dos eventos e os respectivos intervalos de tempo absoluto em que ocorreram a partir de um grafo mínimo de alcançabilidade. A forma como se obtém os intervalos de tempo absoluto em que os diversos eventos de um percurso ocorrem a partir de um grafo mínimo de alcançabilidade será descrita na secção IV.4 deste documento.
- 6) Quando um percurso de um grafo mínimo de alcançabilidade é temporalmente inconsistente implica que a acção que simboliza o fim da apresentação não é alcançável, levando a que alguns objectos média não sejam apresentados ou a sua apresentação bloqueie, pois não é possível reunir as condições necessárias ao seu término ou à progressão da apresentação. Embora a partir de um percurso temporalmente inconsistente associado a um grafo de alcançabilidade que inclua todos percursos (consistentes e inconsistentes) não seja possível identificar os objectos média que deveriam ser apresentados entre o bloqueio da apresentação e o seu término, é possível identificar ao longo de um percurso quais os objectos média em que foi registado apenas o evento que representa o início da sua apresentação. O objectivo consiste na **elaboração de uma lista que identifique os objectos média que bloquearam ou que não terminaram a sua apresentação**.
- 7) Os Arcos de sincronização assumem um comportamento de "*condição - acção*", em que a condição é descrita pela ocorrência de um evento (início ou fim de apresentação de um objecto média ou uma interacção do utilizador sobre um objecto média interactiva) do documento multimédia, enquanto que, uma acção é descrita como o efeito da condição e traduz-se pelo disparo da execução de um evento (início ou fim de apresentação) associado a um objecto média do documento multimédia. Através dos

atributos que descrevem um arco de sincronização descritos na secção IV.3 é possível identificar se este está associado a um determinado percurso do grafo de alcançabilidade, para isso basta verificar se algum dos seus componentes condição ou acção ocorrem no percurso em análise.

Para identificar se um percurso reuniu as condições necessárias à execução dos arco de sincronização a ele associado, basta verificar se:

- a. Se **ambos os eventos** associados à execução de um arco de sincronização, **constam do percurso em análise**, então as condições necessárias à restrição descrita pelo arco de sincronização foram satisfeitas;

Caso não se verifique o ponto a) as condições necessárias à restrição descrita pelo arco de sincronização não foram satisfeitas, no percurso em análise;

O objectivo, consiste na **identificação dos arcos de sincronização para os quais não foi possível reunir as condições necessárias à sua execução**, pois cada arco de sincronização introduzido num documento é uma potencial fonte de inconsistências [Sampaio, 2003].

- b) Um dos condicionantes mais importantes de um documento multimédia é a progressão do tempo, logo para melhor perceber as causas de uma inconsistência num determinado percurso são realizadas as seguintes tarefas:
 - a. **Identificação das restrições de sincronização não satisfeitas**, visto estas serem a principal causa das inconsistências temporais;
 - b. **Identificação dos intervalos de tempo** no percurso em análise em **que não será possível satisfazer as respectivas restrições de sincronização**;
 - c. **Identificação dos eventos** que conduzem à activação de uma restrição de sincronização que não pôde ser satisfeita.

A identificação das restrições de sincronização não satisfeitas, foi realizada no passo (7) (visto as sincronizações que podem conduzir a uma inconsistência temporal são as causais, representadas pelos arcos de sincronização), pelo que só é necessário identificar o intervalo de tempo no percurso em análise em que não será possível satisfazer as respectivas restrições de sincronização e os eventos que as activaram.

O intervalo de tempo em que não será possível satisfazer as respectivas restrições de sincronização está directamente ligado ao intervalo de tempo em que pode ocorrer o evento de activação do respectivo arco de sincronização. O evento de activação pode

ser facilmente identificado pelo respectivo arco de sincronização, enquanto que o intervalo de tempo de activação em que não será possível satisfazer a restrição de sincronização pode ser obtido a partir do nó origem do respectivo evento.

9) **Classificação do tipo de inconsistência** que tem de estar relacionada com as inconsistências Quantitativas ou Qualitativas. Assim uma inconsistência pode ser classificada como:

- a. **Quantitativa** se a sua origem estiver relacionada com eventos não determinísticos internos, eventos não determinísticos externos ou com a duração determinística incompatível dos objectos média;
- b. **Qualitativa** se a sua origem estiver relacionada com as restrições descritas pelos arcos de sincronização quando estes colocam em causa a estrutura de relações do documento multimédia independentemente da duração dos objectos média envolvidos na apresentação;

É necessário identificar que tipo de inconsistência se verificou, visto dela depender a acção a tomar para a sua resolução. Para tal é necessário analisar as condições no grafo mínimo de alcançabilidade em que se verificou a inconsistência, de tal forma que a inconsistência seja classificada de quantitativa se, se verificar uma das seguintes condições:

- a. A inconsistência tem origem num nó potencialmente consistente;
- b. A inconsistência activou uma restrição descrita por um arco de sincronização, ou seja no percurso em análise verificou-se o evento condição da restrição mas não o evento acção;

Enquanto que as inconsistências quantitativas são facilmente identificáveis, o mesmo não acontece com as inconsistências classificadas como qualitativas, visto estas não deixarem um trilho que se possa seguir para a identificação da restrição envolvida e os respectivos eventos. No entanto é viável dizer que se uma inconsistência não for classificada como quantitativa será certamente uma inconsistência qualitativa visto as características de uma inconsistência quantitativa não estarem presentes no percurso em análise.

Assim se a inconsistência for classificada como qualitativa a solução passa pela reavaliação das restrições descritas pelos arcos de sincronização associados ao percurso de apresentação, enquanto que, se a inconsistência for classificada como quantitativa a solução passa pelo ajustamento das durações dos objectos média

envolvidos e/ou pela reavaliação da restrição descrita pelo arco de sincronização identificado como estando associado à inconsistência detectada.

- 10) Quando uma apresentação é temporalmente inconsistente ou potencialmente consistente, é necessário encontrar uma solução válida de apresentação (**controlabilidade da apresentação**). Essa solução é obtida, através do ajuste na duração dos objectos média (aumentando ou diminuindo as durações de apresentação dos objectos média envolvidos na inconsistência) a apresentar ou alterando as restrições descritas pelos arcos de sincronização. O ajuste na duração também é conhecido por controlabilidade, e representa o intervalo de duração temporal dentro do qual a apresentação do documento será sempre consistente.
- 11) A elaboração de um diagnóstico que identifique as inconsistências temporais de um documento multimédia interativo é o objectivo final desta abordagem. Todos os dez passos anteriores contribuem de forma activa na recolha de informação sobre as causas e possíveis soluções das inconsistências temporais existentes no documento multimédia. Foram recolhidos indicadores precisos sobre os percursos com inconsistências bem como as suas características.

No entanto, é necessário converter dados em informação apresentável de forma a apoiar o autor de um DMI no seu processo de autoria, sendo este o objectivo deste passo. Tendo em conta a quantidade de informação gerada pelo diagnóstico e por questões de facilidade de navegação, a informação gerada pelo diagnóstico foi organizada recorrendo a uma estrutura hierárquica, de tal forma que:

O nível raiz é o nível do documento multimédia, a ele está associado a especificação RT-LOTOS e os seus sub níveis contêm os tópicos resultantes da análise às propriedades de consistência de um documento multimédia;

- 1) O primeiro item do sub nível do item raiz, contém a identificação dos objectos média participantes na apresentação e do seu número;
- 2) O segundo item contém informação sobre a consistência global do documento multimédia;
- 3) O terceiro item contém informação sobre os percursos associados às inconsistências, este item ainda possui um sub nível resultante da análise realizada a cada percurso associado a uma inconsistência;
 - a. Este nível tem associado o diagnóstico textual resultante da análise realizada a cada percurso associado a uma inconsistência, a

representação gráfica do traço de execução do percurso e a especificação do grafo mínimo de alcançabilidade também do percurso em análise;

Esta estrutura hierárquica proposta para representar a informação gerada pelo diagnóstico às propriedades de consistência temporal de um documento multimédia será apresentada com mais pormenor na secção IV.5 e na secção V.5.

No entanto para a implementação dos passos acima identificados e que constituem a abordagem aqui apresentada, foi necessário a:

- a) Estruturação dos arcos de sincronização utilizando uma descrição baseada em XML, de forma a serem utilizados posteriormente no diagnóstico das propriedades da consistência temporal;
- b) Identificação dos intervalos de tempo absoluto da ocorrência de eventos num percurso da apresentação;

Nas secções seguintes faremos a descrição das directivas utilizadas para a implementação dos dois itens acima identificados.

IV.3. ESTRUTURAÇÃO DOS ARCOS DE SINCRONIZAÇÃO

O bloco ilustrado na Figura 1, designado por "Arcos de sincronização", descrito em [Sampaio, 2003], consiste de uma representação declarativa que descreve as restrições de sincronização causais definidas entre os objectos média de um documento multimédia. Entenda-se relações causais as relações entre objectos média de um documento multimédia cuja finalidade é a de sincronizar as suas apresentações, o que não é o caso por exemplo das relações que estruturam a apresentação de uma sequência ou paralelo de objectos média de um documento multimédia. Os Arcos de sincronização, assumem um comportamento de *condição - acção* em que a condição é descrita pela ocorrência de um evento (início ou fim de apresentação de um objecto média ou uma interacção do utilizador sobre um objecto média interactivo). Uma acção é descrita como o efeito da condição e traduz-se pela execução de um evento (início ou fim de apresentação de um objecto média) associado a um objecto média do documento multimédia.

Um arco de sincronização tal como se pode verificar na Figura 20(a) e (b), é descrito pelos atributos apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 - Descrição dos atributos de um Arco de Sincronização

"<ID>"	Identifica o arco de sincronização no contexto do documento, utilizando para tal um código alfanumérico ou numérico sequencial;
"<Source>"	Identifica o componente do documento sob o qual, ficará associada a condição para a activação do arco de sincronização;
"<SourceEvent>"	Identifica o evento (início ou fim da apresentação de um objecto ou uma interacção com o utilizador), que deve ocorrer no componente identificado no atributo <Source>, para se verificar a activação do arco de sincronização;
"<Target>"	Identifica o componente do documento sob o qual, ficará associada a acção de a executar pelo arco de sincronização;
"<TargetAction>"	Identifica o evento (início ou fim da apresentação de um objecto), que deve estar disponível no componente identificado no atributo <Target>, para ser possível satisfazer o arco de sincronização;

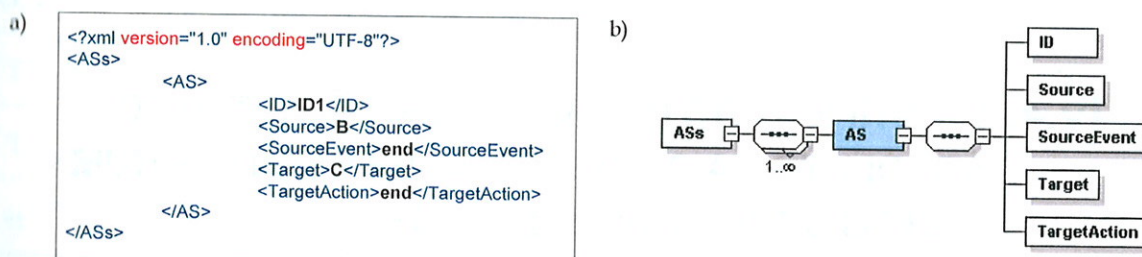


Figura 20 – Estrutura XML de um Arco de Sincronização

A Figura 20(b), ilustra a estrutura em XML para a representação dos arcos de sincronização associados a um documento, os principais elementos são:

- O elemento ASs, representa a lista de arcos de sincronização associada a um documento;
- O elemento AS representa um arco de sincronização, cujos atributos estão descritos na Tabela 4. O bloco ilustrado na Figura 1, designado por "Arcos de sincronização", descrito em [Sampaio, 2003], consiste de uma representação declarativa que descreve as restrições de sincronização causais definidas entre os objectos média de um documento multimédia. Entenda-se relações causais as relações entre objectos média de um documento multimédia cuja finalidade é a de sincronizar as suas apresentações, o que

não é o caso por exemplo das relações que estruturam a apresentação de uma sequência ou paralelo de objectos média de um documento multimédia. Os Arcos de sincronização, assumem um comportamento de condição - acção em que a condição é descrita pela ocorrência de um evento (início ou fim de apresentação de um objecto média ou uma interacção do utilizador sobre um objecto média interactivo). Uma acção é descrita como o efeito da condição e traduz-se pela execução de um evento (início ou fim de apresentação de um objecto média) associado a um objecto média do documento multimédia.

Um arco de sincronização tal como se pode verificar na Figura 20(a) e (b), é descrito pelos atributos apresentados na Tabela 4.

A título de exemplo a Figura 20(a) ilustra a implementação em XML de um arco de sincronização, que impõe o seguinte comportamento: o fim da apresentação do objecto média "B" conduz ao fim da apresentação do objecto média "C".

Os arcos de sincronização são uma parte essencial na elaboração do diagnóstico da análise às propriedades de consistência temporal, conforme ilustrado na Figura 1 e na Figura 19. Estes são analisados para determinar se as condições das restrições de sincronização por eles descritas são satisfeitas e qual o efeito que a sua não realização tem sobre a apresentação.

IV.4. IDENTIFICAÇÃO DOS INTERVALOS DE TEMPO ABSOLUTO DA OCORRÊNCIA DE EVENTOS NUM GRAFO DE ALCANÇABILIDADE

A ideia principal deste algoritmo consiste em identificar os intervalos de tempo absoluto em que cada evento de uma apresentação poderá ocorrer num percurso em particular, tendo como base um grafo mínimo de alcançabilidade derivado de uma especificação RT-LOTOS.

O algoritmo aqui proposto e representado na Figura 21 quando executado sobre um grafo mínimo de alcançabilidade permite ao autor do documento multimédia identificar de forma mais precisa possíveis inconsistências através da análise aos intervalos de tempo em que alguns eventos poderão ocorrer.

Os intervalos de tempo aqui obtidos, associados a cada classe (nó/vértice) do grafo de mínimo de alcançabilidade, serão posteriormente utilizados para determinar os intervalos de tempo em

que cada objecto média do documento multimédia será apresentado, tendo em conta os diversos percursos da apresentação.

A Tabela 5 que se segue descreve as variáveis utilizadas no algoritmo ilustrado na Figura 21 para a Identificação dos intervalos de tempo absoluto da ocorrência de eventos num Grafo Mínimo de Alcançabilidade, para o qual destacamos a variável t que representa o contador da progressão absoluta do tempo ao longo de um percurso da apresentação.

Tabela 5 - Descrição das variáveis utilizadas no algoritmo apresentado na Figura 21

v_c1	Primeiro relógio associado ao vértice actual;
vD_c1	Primeiro relógio associado ao vértice seguinte, se existir uma transição de progressão de tempo com o vértice actual;
vO_c1	Primeiro relógio associado ao vértice anterior, se existir uma transição de progressão de tempo com o vértice actual;
$D\Delta t$	Variação do tempo entre os relógios v_c1 e vD_c1 , se o relógio vD_c1 existir;
$O\Delta t$	Variação do tempo entre os relógios vO_c1 e v_c1 , se o relógio vO_c1 existir;
vO_t	Valor mínimo (tempo) de entrada no vértice anterior;
vO_T	Valor máximo (tempo) de saída do vértice anterior;
t	Valor mínimo do contador de progressão do tempo;
T	Valor máximo do contador de progressão do tempo;
vt	Valor mínimo (tempo) de entrada no vértice actual;
vT	Valor máximo (tempo) de saída do vértice actual;
v	Vértice actual, que representa uma classe/nó no grafo de alcançabilidade;
e	Transição/evento;

O algoritmo que de seguida é ilustrado na Figura 21 é executado para cada vértice do grafo mínimo de alcançabilidade do percurso em análise pela sua ordem topológica, ou seja, um nó deverá ser acedido se todos os seus antecedentes directos o tiverem sido.

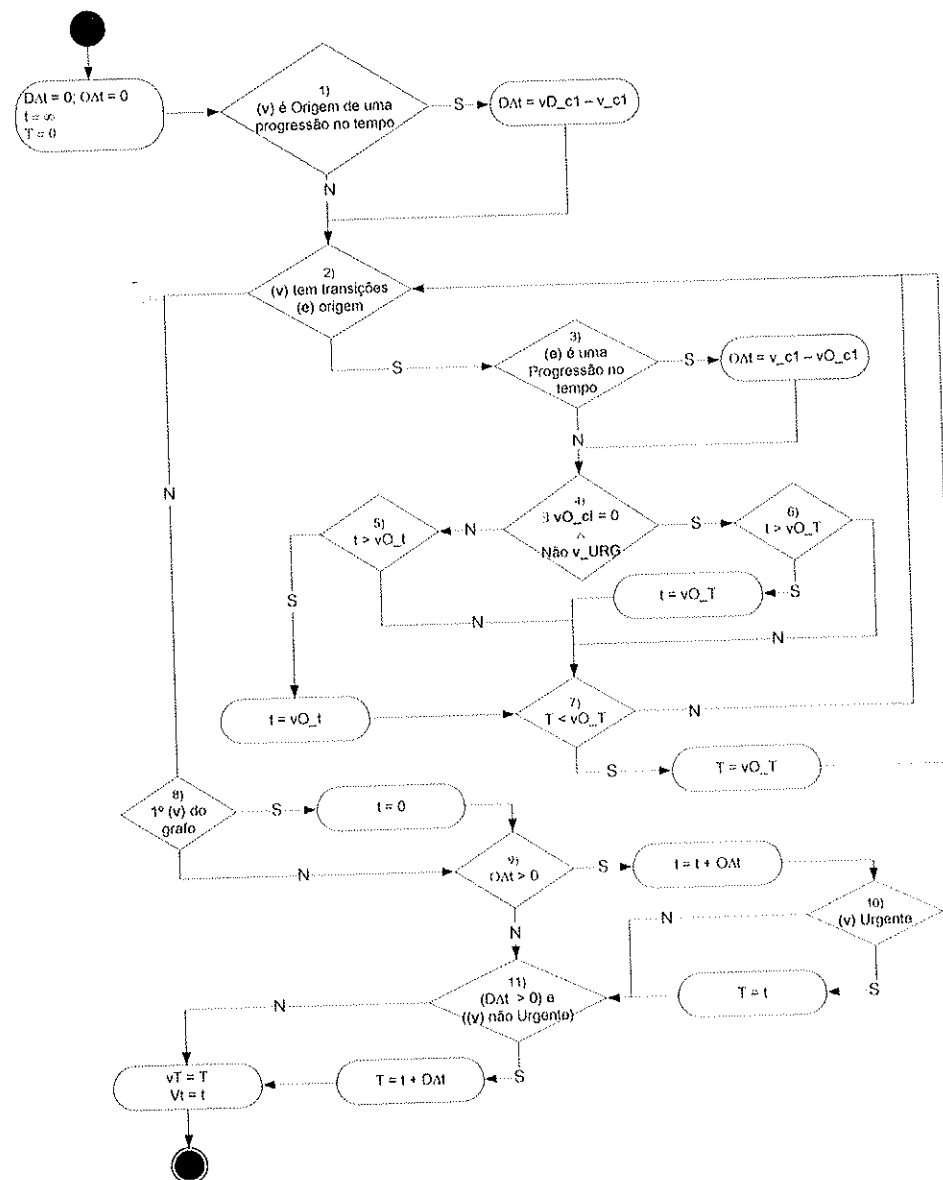


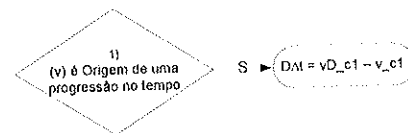
Figura 21 - Algoritmo de identificação dos intervalos de tempo de permanência numa classe do grafo mínimo de alcançabilidade

Segue-se a Tabela 6 que apresenta uma breve explicação dos principais passos ilustrados na Figura 21:

Tabela 6 - Descrição do algoritmo de identificação dos intervalos de tempo de permanência numa classe do grafo mínimo de alcançabilidade

Passo 1:

Se o vértice (classe) actual, for origem de uma transição que represente uma progressão no tempo, determinamos o valor dessa progressão, subtraindo ao valor do primeiro relógio do vértice seguinte (vD_{c1}) o valor do primeiro relógio do vértice actual (v_{c1}). A mesma operação poderia ser realizada com os 2º relógios caso existam.

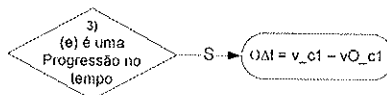


Passo 2:

O passo 2 representa uma condição interna que executa os passos 3, 4, 5, 6 e 7 para cada transição de entrada do vértice actual.

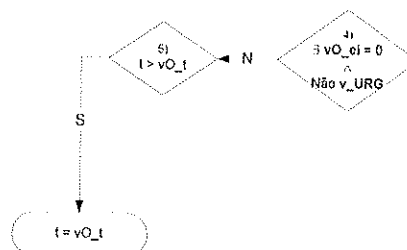
Passo 3:

Se o vértice actual, for destino de uma transição que represente uma progressão no tempo, determino o valor dessa progressão, subtraindo ao valor do primeiro relógio do vértice actual (v_{c1}) o valor do primeiro relógio do vértice anterior (vO_{c1}).



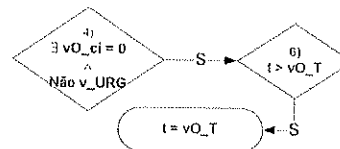
Passo 4 e 5:

Se o vértice actual não é urgente, então o valor da progressão de tempo da apresentação (t), será o menor valor de entrada (vO_t), dos vértices anteriores ligados ao vértice actual por uma transição.



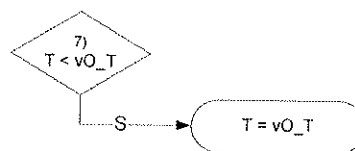
Passo 4 e 6:

Se o vértice actual é urgente, então o valor mínimo do contador de progressão do tempo (t), será o menor valor de saída (vO_T), dos vértices anteriores ligados ao vértice actual por uma transição.



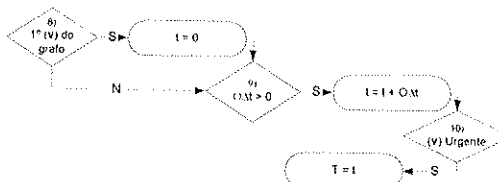
Passo 7:

O valor máximo do contador de progressão do tempo (T), corresponde ao máximo valor de saída dos vértices anteriores ligados ao vértice actual por uma transição.



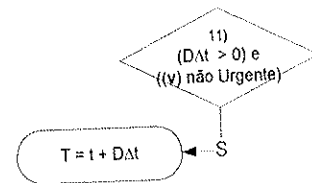
Passo 8, 9 e 10:

Caso o vértice actual seja o primeiro do grafo o contador de progressão do tempo (t) é iniciado a zero. Caso o vértice actual seja o destino de uma transição que represente uma progressão no tempo, o valor mínimo do contador de progressão do tempo (t) é actualizado com a progressão registada em OMt . Se o vértice actual for urgente então o valor máximo do contador de progressão do tempo (T) será igual ao valor mínimo do contador de progressão do tempo (t).



Passo 11:

Caso o vértice actual seja origem de uma transição que represente uma progressão no tempo e não seja um vértice urgente, o valor máximo do contador de progressão do tempo (T), é actualizado com a progressão registada em DAT.



Consideremos como exemplo o percurso inconsistente de um documento multimédia, ilustrado pelo grafo de alcançabilidade na Figura 22, para o qual calcularemos os valores de tempo de entrada e saída de cada classe/vértice.

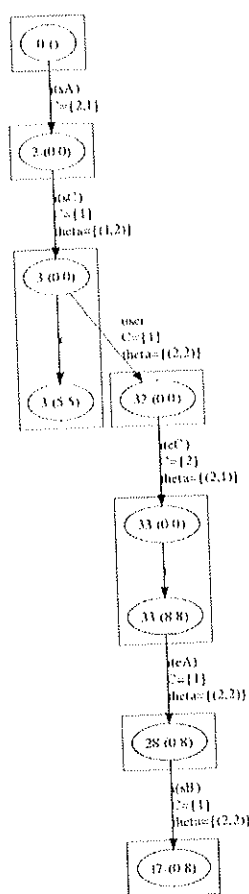


Figura 22 - Percurso Inconsistente de uma apresentação

Como foi referido, o grafo tem de ser acedido pela sua ordem topológica, de forma a garantir a sequência de acontecimentos produzidos durante a apresentação. Assim sendo o algoritmo tem o seu início na classe/vértice inicial do percurso, identificado no grafo de alcançabilidade da Figura 22 pela classe "0-()".

Para facilitar a identificação dos passos seguidos no diagrama de actividade ilustrado na Figura 21, para a obtenção dos intervalos de tempo de entrada e saída de cada classe/vértice, a cada decisão contida no diagrama foi associada um número (ex: 2)), para melhor a identificar.

<p>1) Classe 0-()</p> <p>$v_t = t = 0$</p> <p>$v_T = T = 0$</p>	<p>Valores iniciais das variáveis: $t = \infty$; $T=0$; $O\Delta t = 0$; $D\Delta t = 0$;</p> <p>1) Não é origem de um evento que represente uma progressão de tempo;</p> <p>2) Não tem origem numa transição (classe inicial);</p> <p>8) É a classe inicial do grafo $t = 0$;</p> <p>9) A condição $O\Delta t > 0$ é falsa;</p> <p>11) A condição $D\Delta t > 0$ é falsa;</p>
<p>2) Classe 2-(0 0)</p> <p>$v_t = t = 0$</p> <p>$v_T = T = 0$</p>	<p>Valores iniciais das variáveis: $t = \infty$; $T=0$; $O\Delta t = 0$; $D\Delta t = 0$;</p> <p>1) Não é origem de um evento que represente uma progressão de tempo;</p> <p>2) Tem origem numa transição;</p> <p>3) $i(sA)$, não é um evento que represente uma progressão de tempo;</p> <p>4) Classe é URG;</p> <p>5) A condição $t = \infty > v_{O_t=0}$, é verdadeira, logo $t = 0$;</p> <p>7) A condição $T=0 < v_{O_T}$, é falsa;</p> <p>8) Não é a classe inicial do grafo;</p> <p>9) A condição $O\Delta t > 0$ é falsa;</p> <p>11) A condição $D\Delta t > 0$ é falsa;</p>
<p>3) Classe 3-(0 0)</p> <p>$v_t = t = 0$</p> <p>$v_T = T = 5$</p>	<p>Valores iniciais das variáveis: $t = \infty$; $T=0$; $O\Delta t = 0$; $D\Delta t = 0$;</p> <p>1) É origem de um evento que represente uma progressão de tempo, logo $D\Delta t = v_{D_c1} - v_{c1} \Leftrightarrow 5 - 0 = 5$;</p> <p>2) Tem origem numa transição;</p> <p>3) user, não é um evento que represente uma progressão de tempo;</p> <p>4) Classe não é URG e pode progredir;</p> <p>5) A condição $t = \infty > v_{O_t=0}$, é verdadeira, logo $t = 0$;</p> <p>7) A condição $T=0 < v_{O_T}$, é falsa;</p> <p>8) Não é a classe inicial do grafo;</p> <p>9) A condição $O\Delta t > 0$ é falsa;</p> <p>11) A condição $D\Delta t > 0$ é verdadeira, logo $T = t + D\Delta t \Leftrightarrow 0 + 5 = 5$;</p>
<p>4) Classe 3-(5 5)</p>	<p>Valores iniciais das variáveis: $t = \infty$; $T=0$; $O\Delta t = 0$; $D\Delta t = 0$;</p> <p>1) Não é origem de um evento que represente uma progressão de tempo;</p> <p>2) Tem origem numa transição;</p> <p>3) t, é uma progressão de tempo, logo $O\Delta t = v_{c1} - v_{O_c1} \Leftrightarrow 5 - 0 = 5$;</p> <p>4) Classe é URG;</p>

<p>$v_t = t = 5$</p> <p>$v_T = T = 5$</p>	<p>5) A condição $t = \infty > v_{O_t} = 0$, é verdadeira, logo $t = 0$;</p> <p>7) A condição $T = 0 < v_{O_T}$, é verdadeira, logo $T = v_{O_T} = 5$;</p> <p>8) Não é a classe inicial do grafo;</p> <p>9) A condição $O\Delta t > 0$ é verdadeira, logo $t = t + O\Delta t \Leftrightarrow 0 + 5 = 5$;</p> <p>11) A condição $D\Delta t > 0$ é falsa;</p>
<p>5) Classe 32-(0 0)</p> <p>$v_t = t = 0$</p> <p>$v_T = T = 5$</p>	<p>Valores iniciais das variáveis: $t = \infty$; $T = 0$; $O\Delta t = 0$; $D\Delta t = 0$;</p> <p>1) Não é origem de um evento que represente uma progressão de tempo;</p> <p>2) Tem origem numa transição;</p> <p>3) user, não é uma progressão de tempo;</p> <p>4) Classe é URG;</p> <p>5) A condição $t = \infty > v_{O_t} = 0$, é verdadeira, logo $t = 0$;</p> <p>7) A condição $T = 0 < v_{O_T}$, é verdadeira, logo $T = v_{O_T} = 5$;</p> <p>8) Não é a classe inicial do grafo;</p> <p>9) A condição $O\Delta t > 0$ é falsa;</p> <p>11) A condição $D\Delta t > 0$ é falsa;</p>
<p>6) Classe 33-(0 0)</p> <p>$v_t = t = 0$</p> <p>$v_T = T = 8$</p>	<p>Valores iniciais das variáveis: $t = \infty$; $T = 0$; $O\Delta t = 0$; $D\Delta t = 0$;</p> <p>1) É origem de um evento que represente uma progressão de tempo, logo $D\Delta t = v_{D_c1} - v_{c1} \Leftrightarrow 8 - 0 = 8$;</p> <p>2) Tem origem numa transição;</p> <p>3) i(eC), não é uma progressão de tempo;</p> <p>4) Classe não é URG e pode progredir;</p> <p>5) A condição $t = \infty > v_{O_t} = 0$, é verdadeira, logo $t = 0$;</p> <p>7) A condição $T = 0 < v_{O_T}$, é verdadeira, logo $T = v_{O_T} = 5$;</p> <p>8) Não é a classe inicial do grafo;</p> <p>9) A condição $O\Delta t > 0$ é falsa;</p> <p>11) A condição $D\Delta t > 0$ é verdadeira, logo $T = t + D\Delta t \Leftrightarrow 0 + 8 = 8$;</p>
<p>7) Classe 33-(8 8)</p> <p>$v_t = t = 8$</p> <p>$v_T = T = 8$</p>	<p>Valores iniciais das variáveis: $t = \infty$; $T = 0$; $O\Delta t = 0$; $D\Delta t = 0$;</p> <p>1) Não é origem de um evento que represente uma progressão de tempo;</p> <p>2) Tem origem numa transição;</p> <p>3) t, é uma progressão de tempo, logo $O\Delta t = v_{c1} - v_{O_c1} \Leftrightarrow 8 - 0 = 8$;</p> <p>4) Classe é URG;</p> <p>5) A condição $t = \infty > v_{O_t} = 8$, é verdadeira, logo $t = 8$;</p> <p>7) A condição $T = 0 < v_{O_T}$, é verdadeira, logo $T = v_{O_T} = 8$;</p> <p>8) Não é a classe inicial do grafo;</p> <p>9) A condição $O\Delta t > 0$ é verdadeira, logo $t = t + O\Delta t \Leftrightarrow 0 + 8 = 8$;</p> <p>11) A condição $D\Delta t > 0$ é falsa;</p>

<p>8) Classe 28-(0 8)</p> <p>$vt = t = 8$</p> <p>$vT = T = 8$</p>	<p>Valores iniciais das variáveis: $t = \infty$; $T=0$; $O\Delta t = 0$; $D\Delta t = 0$;</p> <p>1) Não é origem de um evento que represente uma progressão de tempo;</p> <p>2) Tem origem numa transição;</p> <p>3) $i(eA)$, não é uma progressão de tempo;</p> <p>4) Classe é URG;</p> <p>5) A condição $t=\infty > vO_t=8$, é verdadeira, logo $t = 8$;</p> <p>7) A condição $T=0 < vO_T$, é verdadeira, logo $T = vO_T = 8$;</p> <p>8) Não é a classe inicial do grafo;</p> <p>9) A condição $O\Delta t > 0$ é falsa;</p> <p>11) A condição $D\Delta t > 0$ é falsa;</p>
<p>9) Classe 17-(0 8)</p> <p>$vt = t = 8$</p> <p>$vT = T = 8$</p>	<p>Valores iniciais das variáveis: $t = \infty$; $T=0$; $O\Delta t = 0$; $D\Delta t = 0$;</p> <p>1) Não é origem de um evento que represente uma progressão de tempo;</p> <p>2) Tem origem numa transição;</p> <p>3) $i(sA)$, não é uma progressão de tempo;</p> <p>4) Classe é URG;</p> <p>5) A condição $t=\infty > vO_t=8$, é verdadeira, logo $t = 8$;</p> <p>7) A condição $T=0 < vO_T$, é verdadeira, logo $T = vO_T = 8$;</p> <p>8) Não é a classe inicial do grafo;</p> <p>9) A condição $O\Delta t > 0$ é falsa;</p> <p>11) A condição $D\Delta t > 0$ é falsa;</p>

Após a implementação do algoritmo ilustrado na Figura 21, para cada classe do grafo de alcançabilidade ilustrado na Figura 22, os intervalos de tempo em que a apresentação poderá permanecer em cada uma das classes são os apresentados na Tabela 7:

Tabela 7 - Intervalos de tempo de permanência em cada classe do grafo

1) Classe 0-()	[0, 0]
2) Classe 2-(0 0)	[0, 0]
3) Classe 3-(0 0)	[0, 5]
4) Classe 3-(5 5)	[5, 8]
5) Classe 32-(0 0)	[0, 5]
6) Classe 33-(0 0)	[0, 8]
7) Classe 33-(8 8)	[8, 8]
8) Classe 28-(0 8)	[8, 8]
9) Classe 17-(0 8)	[8, 8]

Tendo por base os intervalos de tempo obtidos na Tabela 7, podemos obter dois tipos de informação necessários à detecção de inconsistências:

- a) O intervalo de tempo em que ocorrerá cada evento num percurso de uma apresentação de um documento;
- b) O intervalo de tempo de apresentação de cada objecto média num percurso de um documento;

O intervalo de tempo em que ocorrerá cada evento num dos percursos da apresentação de um documento multimédia é determinado pelo intervalo de tempo associado à classe origem desse evento/transição. Tendo em vista a identificação do tempo em que ocorrerá cada evento apresentado no percurso ilustrado na Figura 22, elaboramos a Tabela 8.

Tabela 8 - Intervalo de tempo associado à execução dos eventos num percurso de apresentação

sA	[0, 0]
sC	[0, 0]
Activate Event (user)	[0, 5]
eC	[0, 5]
eA	[8, 8]
sB	[8, 8]

A identificação do intervalo de tempo utilizado na apresentação de cada objecto média de um documento multimédia é um item interessante na análise da consistência temporal, pois fornece ao autor do documento multimédia informação sobre: O efeito que o não determinismo associado aos objectos média terão sobre a apresentação do cenário, ou determinar que sub intervalo de tempo do não determinismo de um objecto média será utilizado na apresentação.

Tendo em conta os intervalos de tempo identificados na Tabela 8, poderemos facilmente encontrar os intervalos de tempo utilizados por cada componente de um documento na sua apresentação ao longo de um determinado percurso, como se demonstra na Tabela 9.

Tabela 9 - Duração de apresentação dos componentes de um percurso de um documento

A	$eA - sA \Leftrightarrow [8, 8] - [0, 0] = [8, 8]$
B	No percurso em análise o componente B nunca termina, possivelmente conduz a um bloqueio da apresentação.
C	$eC - sC \Leftrightarrow [0, 5] - [0, 0] = [0, 5]$

Como se pode verificar na Tabela 9, não foi possível identificar a duração do componente B do documento, visto este nunca terminar (resultado de uma inconsistência), no percurso em análise ilustrado na Figura 22.

IV.5. ESTRUTURA DO DIAGNÓSTICO

O diagnóstico foi a forma encontrada para apoiar o autor durante a autoria de um documento multimédia. Para isso ele deverá ser capaz de informar o autor do documento multimédia, de uma forma geral sobre a consistência do mesmo (documento consistente, potencialmente consistente ou inconsistente) e de forma detalhada informa-lo sobre a existência de percursos na apresentação do seu documento multimédia que possuem inconsistências temporais e o âmbito em que estas ocorrem, como ilustrado na Figura 23 que representa a visão geral do diagnóstico implementado na ferramenta DIT descrita na secção IV.5 e no capítulo V.

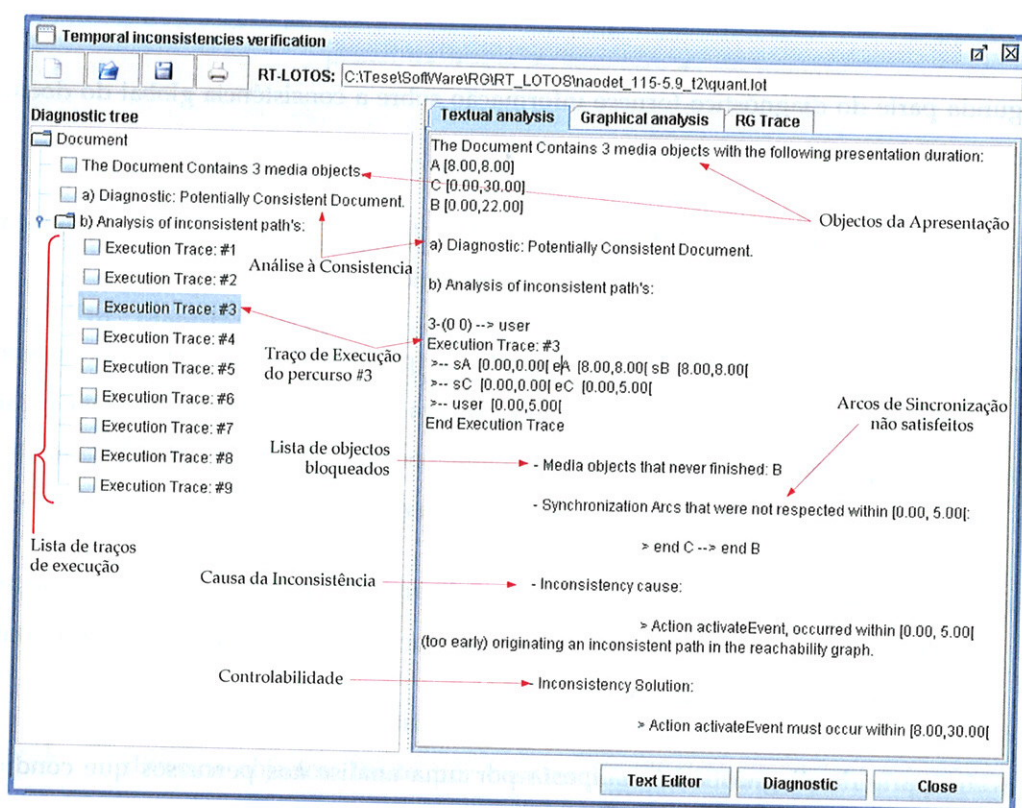


Figura 23 - Diagnóstico, Visão Geral

O objectivo é fornecer o máximo de informação ao autor sobre as inconsistências temporais do seu documento multimédia, daí o diagnóstico resultante da análise da consistência temporal ser estruturado em três partes. Onde:

- a) A primeira parte do diagnóstico consiste na **identificação dos diversos objectos que compõem o documento e o seu número**;
- b) A segunda parte do diagnóstico consiste em informar o autor de forma geral sobre a **consistência temporal do seu documento multimédia** (ou seja identificar se o documento é **consistente, potencialmente consistente ou inconsistente**);
- c) A terceira parte é a que contém em maior detalhe as informações sobre as **inconsistências temporais do documento multimédia**. Esta fase, consiste na estruturação do resultado da **análise individual efectuada a cada percurso** que esteja envolvido numa inconsistência temporal.

A primeira parte do diagnóstico é muito simples, no entanto fornece ao autor informação relevante. A discrepância do número de objectos que é possível apresentar, nomeadamente a ausência de alguns dos objectos especificados, leva a concluir facilmente que ocorreu algum problema com os respectivos objectos média ou com os seus antecessores. De qualquer forma, o autor fica consciente que a apresentação do documento irá ter um comportamento diferente do especificado.

A segunda parte do diagnóstico fornece informação sobre a consistência global do documento que deverá ser uma de três hipóteses:

- a) O documento é **consistente** (indica ao autor que a apresentação do documento chegará ao fim, independentemente do percurso escolhido);
- b) O documento é **potencialmente consistente** (garante ao autor que existem percursos em que a apresentação do documento chegará ao fim, no entanto também garante ao autor que existem percursos em que a apresentação do documento terá comportamentos não desejados e poderá mesmo bloquear);
- c) O documento é **inconsistente** (indica ao autor que com a estrutura actual do documento não é possível concluir a apresentação. A apresentação terá comportamento não previstos e poderá mesmo bloquear).

A terceira parte do diagnóstico é composta por uma análise aos percursos que conduzem a apresentação a uma inconsistência temporal. A execução de um destes percursos terá como consequência comportamentos não especificados que conduzirão ao bloqueio da apresentação. Assim, esta parte do diagnóstico foi organizada em 5 pontos:

- 1) Traço de execução do percurso em análise;
- 2) Lista com os objectos que bloquearam;

- 3) Lista com os arcos de sincronização não executados;
- 4) Identificação da causa da inconsistência;
- 5) Identificação de uma possível solução da inconsistência identificada no ponto 4.

Segue-se a descrição de cada um dos cinco itens acima identificados que compõem a terceira parte do diagnóstico:

- a. O **traço de execução de um percurso** representa a sequência de acontecimentos durante a apresentação de um percurso de um documento multimédia como ilustrado na Figura 24.

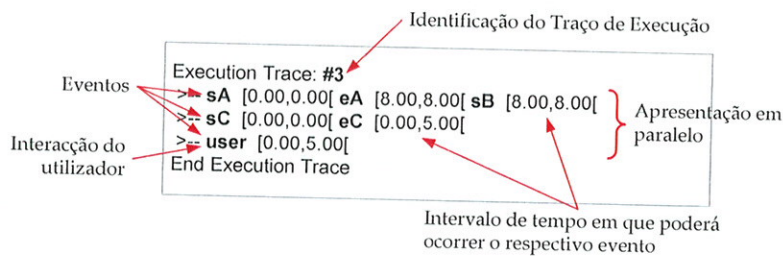


Figura 24- Traço de execução de um percurso

O traço de execução de um percurso é composto por:

- a) **Identificação do traço** recorrendo à atribuição de um número sequencial (#3);
 - b) **Identificação dos eventos** que ocorreram e representam o início ou o fim da apresentação dos objectos envolvidos num percurso;
 - c) **Identificação dos eventos que representam as interacções** dos utilizadores sobre os objectos da apresentação;
 - d) **Identificação dos respectivos intervalos de tempo** em que esses eventos poderão ocorrer;
 - e) **Identificação da estrutura de apresentação** (sequencial ou paralelo) dos diversos objectos, tendo por base os intervalos de tempo em que estes são apresentados.
- b. A lista com os objectos média que bloquearam ao longo do percurso em análise é apresentada como ilustrada na Figura 25 e consiste na identificação textual dos objectos média que devido à inconsistência temporal associada ao percurso, não terminaram a sua apresentação conforme previsto na especificação.

Media objects that never finished: B

Figura 25 - Objectos Bloqueados

- c. A lista com os arcos de sincronização não satisfeitos como ilustrado na Figura 26 consiste na identificação dos arcos de sincronização associados a um intervalo de tempo específico do percurso em análise, que por não satisfação da restrição de sincronização não foram executados conforme previsto na especificação conduzindo a apresentação a uma inconsistência temporal.

Synchronization Arcs that were not respected within [0.00, 5.00]:
> end C --> end B

Figura 26 - Arcos de Sincronização não Satisfeitos

O formato para a apresentação de um arco de sincronização consiste na identificação do evento condição e o evento acção, ou seja apresentar os atributos que compõem um arco.

- d. A Identificação da causa da inconsistência temporal que ocorreu no percurso conforme ilustrado na Figura 27, consiste em identificar o tipo de inconsistência que se verificou, o intervalo de tempo em que esta pode ocorrer e os eventos envolvidos. Os eventos envolvidos na inconsistência são sempre os eventos envolvidos numa restrição de sincronização, que não foi possível satisfazer no intervalo de tempo identificado.

Inconsistency cause:

> Action activateEvent, occurred within [0.00, 5.00] (too early) originating an inconsistent path in the reachability graph.

Figura 27 - Causa da Inconsistência

- e. A Identificação de uma possível solução da inconsistência temporal como a ilustrada na Figura 28 baseia-se na análise dos intervalos de tempo de ocorrência dos eventos envolvidos no arco de sincronização não satisfeito. Como resultado dessa análise é proposto um novo intervalo para sincronização dos eventos ou se possível, a limitação dos intervalos de sincronização existentes (controlabilidade).

Inconsistency Solution:

> Action activateEvent must occur within [8.00,30.00]

Figura 28 - Oferta da Controlabilidade

O diagnóstico além da versão textual ilustrada na Figura 23 e descrita na secção IV.5 e no capítulo V. , também contém uma versão gráfica como a ilustrada na Figura 29, no entanto esta representação gráfica apenas mostra alguma informação do traço de execução textual apresentado anteriormente nesta secção.

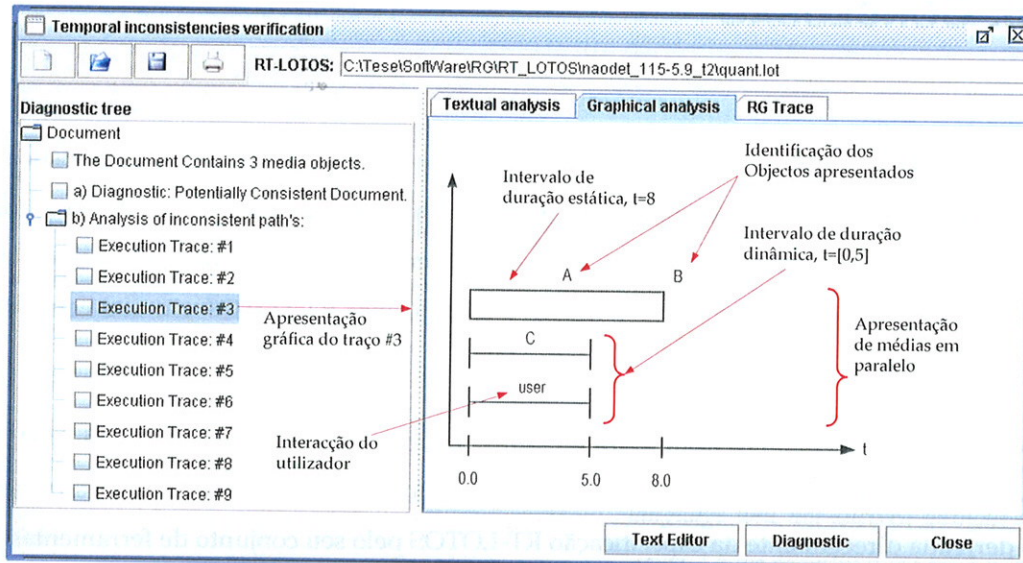


Figura 29 - Diagnóstico, Representação Gráfica de um Percurso

O diagnóstico gráfico associado a um traço de execução apresenta a seguinte informação:

- Identifica os objectos média associados aos eventos registados no traço de execução;
- Distingue objectos média da apresentação das interacções do utilizador (user);
- Distingue apresentações com duração determinística (representados graficamente por um rectângulo) de apresentações cuja duração não é determinística (representado graficamente por um segmento de recta);
- Distingue a estrutura de apresentação em sequência (representado graficamente por uma linha de apresentação) e paralelo (representado graficamente pelas várias linhas de apresentação), dos objectos média apresentados no traço de execução;
- Identifica no eixo dos tempos a progressão do tempo absoluto da apresentação e regista os momentos em que ocorreram eventos;

Embora o diagnóstico seja executado para cada percurso que apresente uma inconsistência temporal, a sua identificação e resolução não implica a imediata consistência do documento, visto a análise ser progressiva e realizada apenas para a primeira inconsistência detectada num percurso tornando este processo num processo iterativo. Só após a resolução das inconsistências

iniciais de um percurso é possível avançar um pouco mais na apresentação e analisar as seguintes inconsistências temporais caso estas existam.

IV.6. CONCLUSÃO

O objectivo deste capítulo foi o de apresentar uma abordagem para o diagnóstico das propriedades de consistência temporal de um documento multimédia de suporte ao autor em tempo de autoria. Para tal a abordagem teria de ter como ponto de partida uma especificação formal mais especificamente a Técnica de Descrição Formal RT-LOTOS e o seu conjunto de ferramentas RTL.

Para cumprir tal objectivo no capítulo III, foi apresentado a "Abordagem Formal: RT-LOTOS" e na secção III.4.1 foi apresentado o "Grafo Mínimo de Alcançabilidade" que é uma estrutura em grafo derivada directamente da especificação RT-LOTOS pelo seu conjunto de ferramentas RTL.

A abordagem para a geração do diagnóstico foi apresentada na secção IV.2 e assenta toda a informação gerada na análise do grafo mínimo de alcançabilidade.

Na elaboração desta abordagem foi ainda proposto:

- a. A definição de nó **potencialmente consistente**;
- b. A estruturação dos arcos de sincronização de um documento multimédia numa estrutura XML;
- c. Um algoritmo de identificação dos intervalos de tempo absoluto da ocorrência de eventos num grafo mínimo de alcançabilidade;
- d. Uma estrutura para a apresentação do diagnóstico.

Finalmente julgamos que a abordagem aqui apresentada para a elaboração de um diagnóstico às propriedades de consistência de um documento multimédia, trás um contributo à área de investigação da verificação das propriedades de consistência em documentos multimédia, na medida em que propõe e automatiza diversos processos para a elaboração de um diagnóstico às propriedades de consistência temporal de um DMI.

No capítulo seguinte iremos apresentar os principais aspectos da implementação da abordagem aqui apresentada que dará origem à ferramenta "Diagnóstico das Inconsistências Temporais" (DIT), com o objectivo de automatizar e validar os seus diagnósticos.

V. IMPLEMENTAÇÃO

"The most important thing in the programming language is the name. A language will not succeed without a good name. I have recently invented a very good name and now I am looking for a suitable language. "

Donald Knuth

V.1. INTRODUÇÃO

O objectivo deste capítulo é o de apresentar os principais aspectos de implementação da ferramenta de Diagnóstico de Inconsistências Temporais (DIT) em documentos multimédia baseado na abordagem proposta no capítulo III.

Dentre os principais aspectos de implementação apresentados neste capítulo estão o seu posicionamento no ciclo de autoria proposto pela metodologia baseada na TDF RT-LOTOS apresentada em [Sampaio and Courtiat, 2004b], os principais objectivos (casos de utilização) do utilizador perante o sistema, a arquitectura e os componentes mais importantes utilizados na elaboração da ferramenta.

A apresentação da implementação da ferramenta DIT encontra-se dividida em seis secções. Na secção V.2 apresentamos uma visão geral sobre a ferramenta de Diagnóstico de Inconsistências Temporais (DIT), onde abordamos o ciclo de desenvolvimento (autoria) de um documento multimédia, na secção V.3 apresentamos os requisitos do utilizador ilustrados pelos principais casos de utilização; na secção V.4 apresentamos a arquitectura adoptada para o desenvolvimento da ferramenta DIT; na secção V.5 apresentamos as suas principais interfaces com o utilizador, na secção V.6 apresentamos a estrutura dos principais componentes que compõem a ferramenta DIT, na secção V.7 apresentamos as principais opções tecnológicas tomadas na implementação, na secção V.8 apresentamos uma breve conclusão sobre este capítulo.

V.2. VISÃO FUNCIONAL (CICLO DE AUTORIA)

Ao analisarmos o ciclo de desenvolvimento proposto para o Desenho Formal de DMI's baseado na TDF RT-LOTOS para acompanhar o autor no seu processo de autoria e apresentação de um documento multimédia, constatamos que, de forma resumida o processo encontra-se dividido por cinco passos associados a cinco ferramentas conforme ilustrado na Figura 30.

A razão da existência de tão diverso número de ferramentas, prende-se com o facto de que várias delas foram desenvolvidas por pessoas geograficamente dispersas em projectos individuais ao mesmo tempo, daí a integração ser algo a realizar numa fase à posteriori.

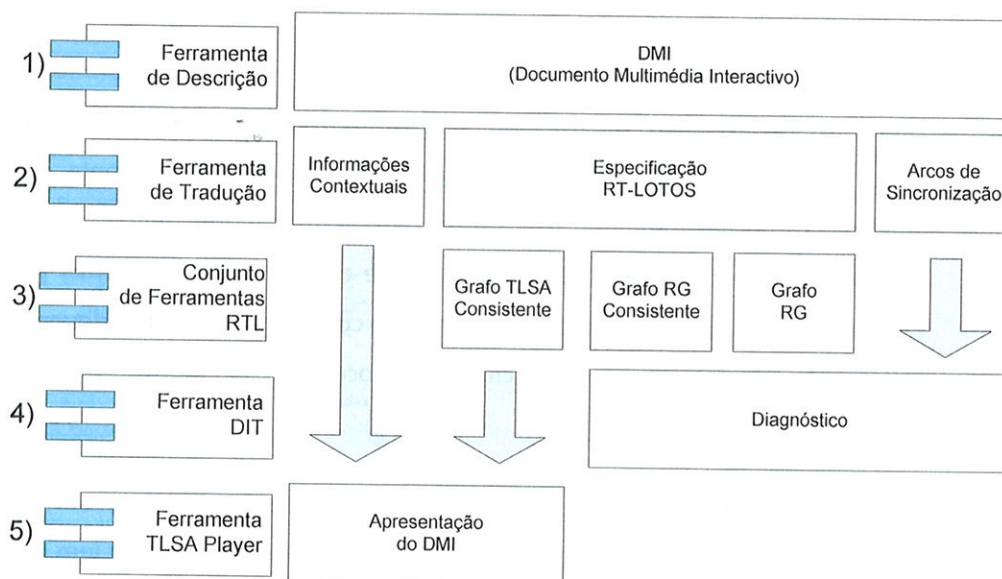


Figura 30 - Ciclo para a elaboração de um diagnóstico às propriedades de consistência temporal de um DMI

O ciclo de desenvolvimento ilustrado na Figura 30, descreve a sequência típica entre a descrição e a apresentação de um documento multimédia. Este ciclo gera uma série de artefactos pelas diversas ferramentas a eles associados, que se passa a descrever:

1. A ferramenta de **descrição** consiste na utilização de uma linguagem de alto nível ao qual o autor se sinta mais integrado para descrever o seu **Documento Multimédia Interactivo** (por exemplo, SMIL [SMIL™]);
2. Utilizando uma ferramenta de **tradução**, o autor do documento multimédia poderá traduzir de forma automática a sua descrição de alto nível do documento para uma **especificação formal RT-LOTOS**. Durante o processo de tradução, apresentado em [Sampaio, 2003] e [Sampaio and Courtiat, 2004a] são geradas estruturas intermediárias que representam a dinâmica temporal do documento e dos seus componentes. Dentre essas estruturas, estão um conjunto de restrições descritas pelos *arcos de sincronização* que são armazenados num ficheiro estruturado com um formato XML, conforme ilustrado na Figura 20 e um conjunto de informações contextuais do "layout" utilizado na apresentação;
3. Numa segunda fase, utilizando o conjunto de ferramentas RTL, são gerados três grafos. O **grafo mínimo de alcançabilidade** (que inclui os percursos consistentes e inconsistentes) e o **grafo mínimo de alcançabilidade consistente** são utilizados para a

verificação da consistência temporal do documento multimédia e elaboração do diagnóstico às propriedades de consistência temporal, enquanto que o **grafo TLSA consistente** será utilizado, juntamente com as informações contextuais geradas no processo de tradução, para a apresentação do documento multimédia;

4. Utilizando a ferramenta DIT (Diagnóstico de Inconsistências Temporais) será possível **gerar e visualizar o diagnóstico às propriedades de consistência temporal** do documento em análise, tendo por base informações anteriormente geradas (grafo mínimo de alcançabilidade, que inclua os percursos consistentes e inconsistentes, o grafo mínimo de alcançabilidade consistente e as restrições descritas pelos arcos de sincronização). Caso o documento não seja consistente, o autor deverá proceder às alterações devidas e voltar ao início deste processo, caso contrário poderá visualizar a apresentação do seu documento;
5. A aplicação “TLSA player” apresentada em [Sampaio, 2003], é um player para a **apresentação de documentos multimédia interactivos**. Este player tem como ponto de entrada o grafo (TLSA) consistente de escalonamento de eventos gerado pelo conjunto de ferramentas RTL no passo 3 e o conjunto de informações contextuais geradas no passo 2 pela ferramenta de tradução.

Na secção seguinte, iremos apresentar os principais actores e casos de utilização da ferramenta de Diagnóstico de Inconsistências Temporais (DIT).

V.3. ACTORES E CASOS DE UTILIZAÇÃO

A Figura 31, representa o único actor do sistema DIT. Este é representado pelo actor anónimo que assumirá o papel de autor de um documento multimédia interactivo.

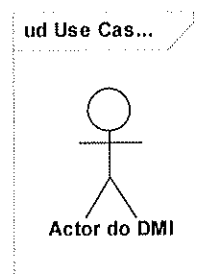


Figura 31 - Actor do Sistema

Este actor irá interagir com as funcionalidades da ferramenta DIT, que são descritas de seguida utilizando para tal a técnica de casos de utilização, ilustrados graficamente na Figura 32.

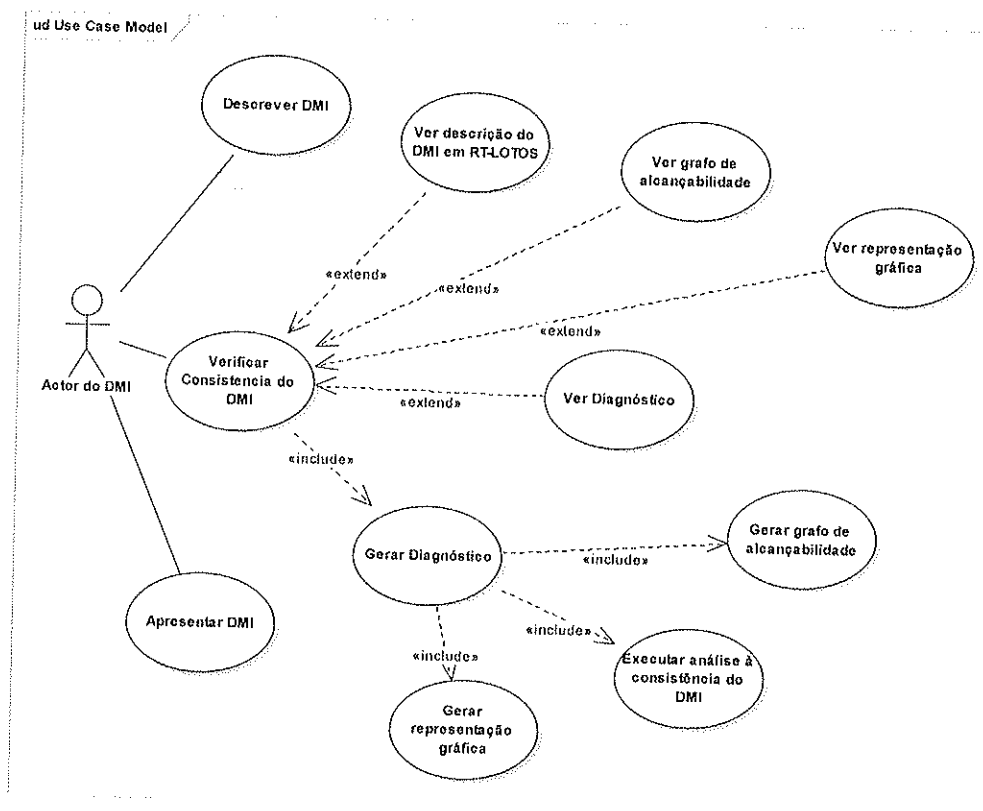


Figura 32 - Casos de utilização do sistema

Os objectivos do utilizador anónimo ou o autor do documento, perante o sistema durante o processo de autoria, são genericamente três:

- a) **Descrever o documento multimédia interactivo** utilizando para tal uma linguagem de alto nível;
- b) **Verificar a consistência do documento**, ou seja verificar as propriedades de consistência temporal do documento, de forma a ter garantias que o seu documento possui soluções válidas (correctas) para a sua apresentação;
- c) **Apresentar ou testar o documento**, de forma a verificar o seu resultado.

Na secção seguinte iremos descrever os casos de utilização identificados para a ferramenta DIT.

V.3.1.DESCRICÃO DOS CASOS DE UTILIZAÇÃO

Dos três grandes objectivos do autor de um DMI identificado na secção anterior, o sistema DIT apenas pretende dar resposta ao caso de utilização referente à **verificação da consistência** temporal do documento. Neste caso de utilização o utilizador anónimo pode:

1. **Ver descrição do DMI em RT-LOTOS** permite ao utilizador visualizar a especificação RT-LOTOS resultado da tradução realizada com base na descrição de alto nível do documento do autor;
2. **Gerar Diagnóstico:** é um requisito de utilização cuja sua implementação permite ao utilizador concentrar a geração de um conjunto de informação, que após análise permite compilar um diagnóstico sob a forma de texto ou gráfico.
 - 2.1. **Executar análise à consistência do DMI** é processo que quando executado produz o resultado da verificação à consistência temporal do documento, isto é automatiza o método proposto especificado para a TDF RT-LOTOS (análise de alcançabilidade) e implementa todas as funções necessárias à obtenção do diagnóstico às propriedades de consistência temporal de um DMI;
 - 2.2. **Gerar representação gráfica** permite ao utilizador gerar um gráfico que representa a sequência de objectos média apresentados ao longo de um percurso da apresentação do documento, de forma a ter uma ideia visual da sequência dos acontecimentos;
 - 2.3. **Gerar grafo de alcançabilidade** permite gerar a especificação do grafo de alcançabilidade que representa um percurso de apresentação de um documento multimédia;
3. **Ver Diagnóstico** permite ao utilizador aceder ao diagnóstico textual gerado pela ferramenta DIT, de forma a identificar os percursos que apresentam inconsistências temporais, as suas causas e possíveis soluções de controlabilidade.
4. **Ver representação gráfica** permite ao utilizador visualizar a representação gráfica de um percurso da apresentação de um documento multimédia, ficando com uma ideia visual sobre o comportamento da apresentação;

5. Ver grafo de alcançabilidade permite aos utilizadores avançados utilizarem a especificação do grafo de alcançabilidade que representa um percurso de apresentação de um documento multimédia numa ferramenta externa ao DIT;

A implementação destes objectivos (casos de utilização) do autor de um DMI perante o sistema, vem colmatar a necessidade sentida por este, de um mecanismo que avalie a consistência temporal de um DMI.

Na secção seguinte, iremos apresentar a arquitectura e as principais interfaces gráficas da ferramenta DIT com o utilizador.

V.4. ARQUITECTURA

O sistema de Diagnóstico de Inconsistências Temporais (DIT), foi implementado seguindo uma abordagem modular e incremental. Como podemos observar na Figura 33, a arquitectura do sistema segue o modelo 3-tier, organizado com as camadas de: apresentação, negócio e de dados.

A divisão por camadas, foi não só uma opção estrutural de divisão funcional do sistema, mas também por questões de evolução do mesmo. Nomeadamente no que diz respeito à evolução da ferramenta de uma arquitectura monoposto para uma arquitectura cliente servidor, o que implica a respectiva substituição da camada de apresentação, por outra mais apropriada.

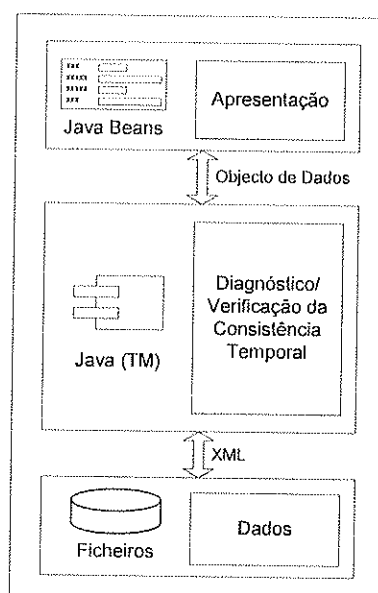


Figura 33 – Arquitectura 3-tier

Cada uma das três camadas desempenha as suas funções independentemente da camada que está acima, e apenas conhece a interface da camada que esta imediatamente abaixo. As funções de cada uma das camadas da arquitectura são as que se seguem:

A **camada de dados**, é a mais pequena e menos significativa das três, pois a ferramenta tem poucas necessidades de ler e armazenar informação. No entanto, a camada de dados é responsável pelo armazenamento (em ficheiros) de alguns dos dados utilizados, nomeadamente os dados referentes a configurações, registos da aplicação, restrições descritas pelos *arcos de sincronização* e dos grafos mínimos de alcançabilidade a analisar.

A **camada de negócio**, é a camada responsável pela manipulação dos dados e geração do diagnóstico das propriedades de consistência temporal de um documento multimédia. É nesta camada que estão implementados todos os componentes da aplicação que estão relacionados com a análise, verificação e diagnóstico da consistência temporal de um documento, nomeadamente:

- a) O **interpretador de grafos mínimos alcançabilidade**, gerados pelo conjunto de ferramentas RTL;
- b) O **interpretador de Arcos de Sincronização**, gerado pela ferramenta de tradução automática de uma especificação de alto nível para uma especificação RT-LOTOS;
- c) O **algoritmo de identificação dos intervalos de tempo absoluto** em que ocorrem os eventos de um percurso, baseado na informação de um grafo mínimo de alcançabilidade;
- d) Todas as funções associadas à abordagem para a **geração de um diagnóstico** das propriedades de consistência temporal de um DMI.

Esta camada será alvo na secção V.6, de uma descrição mais pormenorizada com o objectivo de mostrar e detalhar os seus componentes mais importantes.

A **camada de apresentação**, é a camada que serve de interface da ferramenta DIT com o utilizador, é ainda responsável por manipular os dados fornecidos pela camada de negócio, de forma a apresentá-los da maneira mais compreensível possível. Esta camada foi implementada utilizando os componentes JavaBeans [JavaBeans] existentes no pacote SWING [Swing] disponíveis para a linguagem de programação Java™ [Java(™)]. É certamente a camada de maior visibilidade, principalmente por ser a única com interacção directa do utilizador.

A camada de apresentação tem basicamente dois ecrãs importantes à elaboração do diagnóstico, todos os ecrãs estão preparados para suportar multilingue:

1. Ecrã para configurar as opções de trabalho;
2. Ecrã de geração do diagnóstico;
 - a. Estrutura em árvore do diagnóstico;
 - b. Diagnóstico textual;
 - c. Diagnóstico gráfico;
 - d. Especificação do grafo mínimo de alcançabilidade de um percurso;

Na secção seguinte serão apresentadas mais em pormenor as principais interfaces com o utilizador da ferramenta DIT.

V.5. PRINCIPAIS ECRÃS

A ferramenta DIT, tem basicamente dois ecrãs importantes para a elaboração do diagnóstico:

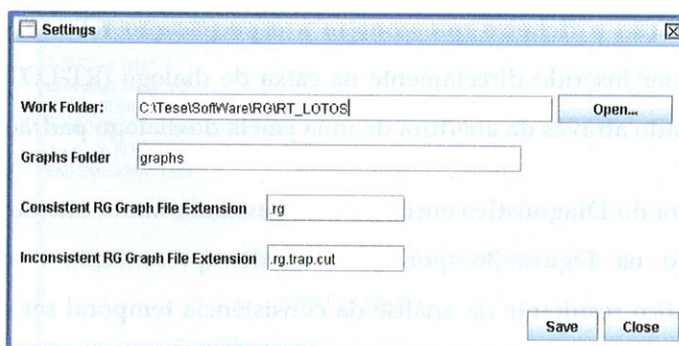


Figura 34 - Ecrã de configurações opções de trabalho

1. O ecrã ilustrado na Figura 34, serve de interface para o utilizador configurar as opções de trabalho:
 - a) **Directório de trabalho** (localização dos projectos com as especificações RT-LOTOS);

- b) Nome do sub directório de cada projecto, onde serão armazenados os grafos mínimo de alcançabilidade;
- c) A extensão do ficheiro, que contém o grafo mínimo de alcançabilidade, que contém os percursos consistentes e inconsistentes;
- d) A extensão do ficheiro, que contém o grafo mínimo de alcançabilidade temporalmente consistente;

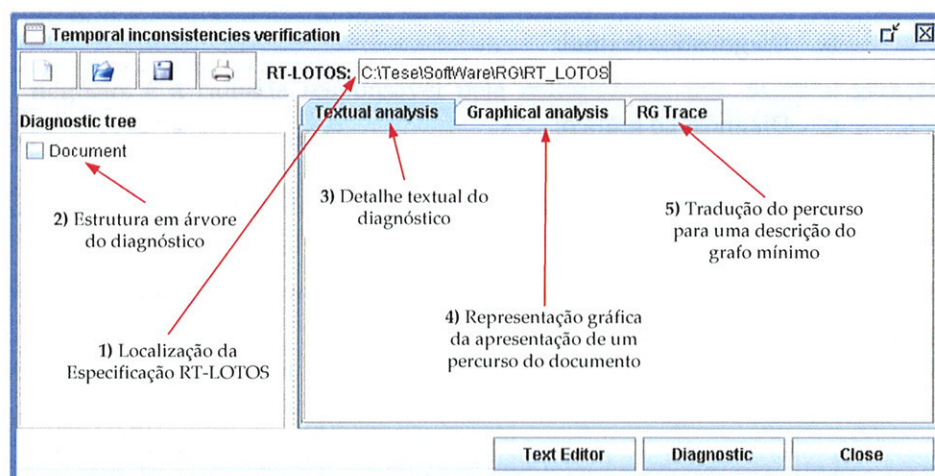


Figura 35 - Ecrã de Diagnóstico de Inconsistências Temporais

2. O ecrã principal, é responsável pela geração do diagnóstico de inconsistências temporais. Este ecrã encontra-se dividido em 5 partes como ilustrado na Figura 35:

- 1) Identificação o ficheiro que contém a especificação RT-LOTOS a analisar, este poderá ser inserido directamente na caixa de dialogo (RT-LOTOS), ou poderá ser pesquisado através da abertura de uma janela de dialogo padrão para o efeito;
- 2) Estrutura do Diagnóstico encontra-se organizada numa estrutura em árvore, como ilustrado na Figura 36, por questões de apresentação e navegação, visto o diagnóstico resultante da análise da consistência temporal ser estruturado em três partes:
 - a) A primeira parte do diagnóstico consiste na identificação dos diversos objectos média que compõem o documento e o seu número;
 - b) A segunda parte do diagnóstico consiste em informar o autor, de forma geral sobre a consistência temporal do seu documento multimédia (ou seja identificar se o documento é consistente, potencialmente consistente ou inconsistente);

- c) A terceira parte, é a que contém mais informação sobre as inconsistências temporais do documento multimédia. Esta consiste na apresentação do **resultado da análise individual efectuada a cada percurso** (traço de execução) que esteja envolvido numa inconsistência temporal.

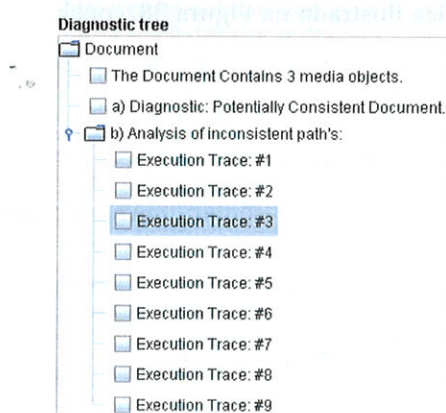


Figura 36- Estrutura em Árvore do Diagnóstico

Em particular a estrutura do diagnóstico ilustrado na Figura 36, informa o autor que o documento analisado: Tem três objectos a serem apresentados; O documento é potencialmente consistente e Foram detectados e analisados seis percursos da apresentação com ocorrências de inconsistências temporais.

Textual analysis Graphical analysis RG Trace

The Document Contains 3 media objects with the following presentation duration:

a) Diagnostic: Potentially Consistent Document.

b) Analysis of inconsistent path's:

3-(0 0) --> user
 Execution Trace: #3
 >-- sA [0.00,0.00[eA [8.00,8.00[sB [8.00,8.00[
 >-- sC [0.00,0.00[eC [0.00,5.00[
 >-- user [0.00,5.00[
 End Execution Trace

- Media objects that never finished: B
- Synchronization Arcs that were not respected within [0.00, 5.00[
 - > end C --> end B
- Inconsistency cause:
 - > Action activateEvent, occurred within [0.00, 5.00[(too early) originating an inconsistent path in the reachability graph.
- Inconsistency Solution:
 - > Action activateEvent must occur within [8.00,30.00[

Figura 37 - Análise Textual do Diagnóstico

- 3) A **análise textual**, ilustrada na Figura 37, consiste na apresentação textual do diagnóstico elaborado às propriedades de consistência temporal de um documento multimédia. Este diagnóstico poderá ser apresentado de forma completa, ou

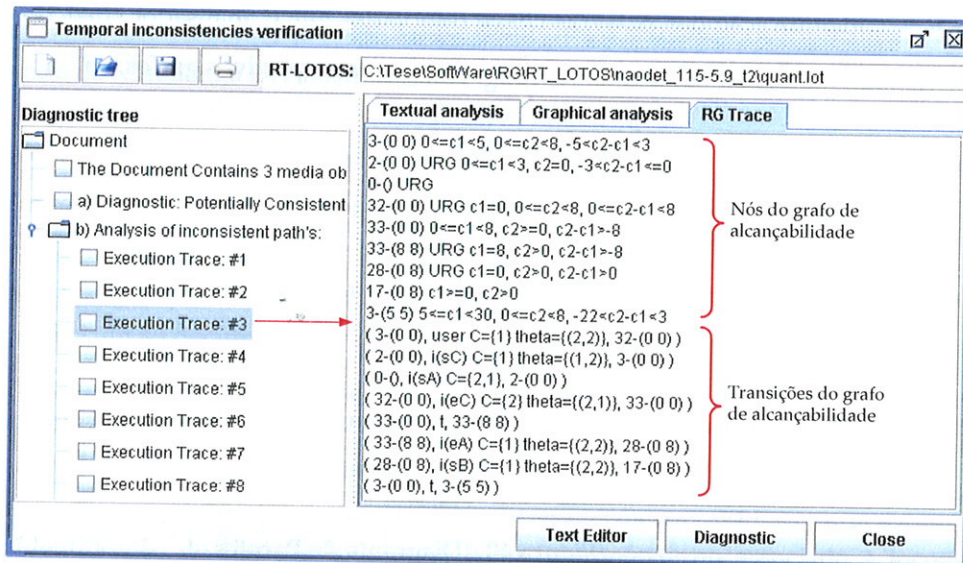


Figura 39 - Descrição de um grafo mínimo de alcançabilidade de um percurso da apresentação

Na secção seguinte iremos abordar os componentes mais importantes que compõem a ferramenta DIT, no que diz respeito à sua importância e funcionalidades.

V.6. PRINCIPAIS COMPONENTES

A ferramenta DIT, foi implementada de acordo com a arquitectura descrita na secção V.4. A Figura 40 ilustra os pacotes mais importantes que constituem essa ferramenta.

O pacote que implementa o "Rg Parser" é responsável pela leitura e análise dos ficheiros que definem o grafo mínimo de alcançabilidade e o grafo mínimo de alcançabilidade consistente. A leitura dos grafos é realizada utilizando dois analisadores, um analisador sintáctico e um analisador léxico, de tal forma que:

- O analisador sintáctico (implementado utilizando a ferramenta CUP, descrito em [Hudson]), é responsável pela verificação da estrutura dos grafos. O seu principal objectivo é o de identificar e detectar todas as informações que compõem o grafo, e armazená-las numa estrutura em grafo utilizando para o efeito o pacote JGraphT [Naveh];
- O analisador léxico (implementado utilizando a ferramenta JFLEX, descrito em [Klein]), permite a descrição de todas as palavras-chave reservadas (*tokens*) que poderão surgir no ficheiro dos grafos de alcançabilidade. É a partir da

identificação das palavras-chave reservadas que o analisador sintáctico poderá identificar e tratar a informação contida nos respectivos grafos.

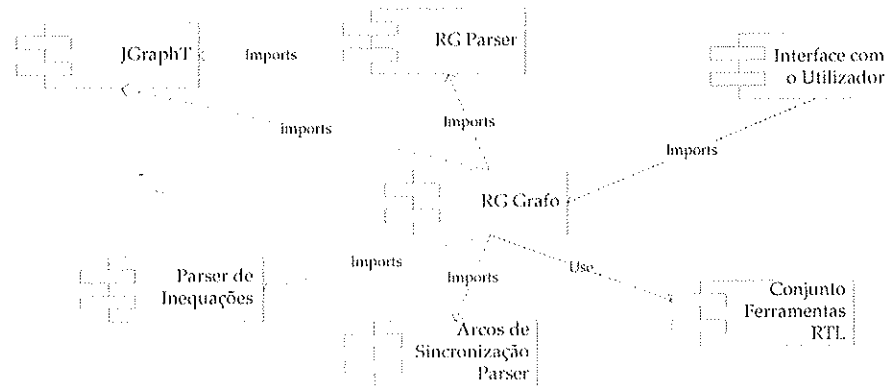


Figura 40 - Diagrama de Pacotes

O “*parser de inequações*” é o pacote que é responsável pela leitura e análise das condições/restrições dos relógios definidos para cada classe do grafo mínimo de alcançabilidade. O seu objectivo consiste em identificar as condições associadas aos relógios da classe que impeçam estes de progredir, não podendo a apresentação permanecer tempo algum na respectiva classe do grafo. A implementação deste pacote seguiu a base tecnológica do analisador sintáctico e do analisador léxico do *parser* implementado no pacote “RG Parser”.

O pacote “JGraphT” é uma livreria de grafos implementada em Java™ [Java™], que disponibiliza objectos e algoritmos matemáticos da teoria dos grafos descritos em [Naveh]. O principal objectivo deste pacote consiste em fornecer a estrutura necessária de suporte ao armazenamento da informação constante nos grafos de alcançabilidade.

O pacote “Arcos de Sincronização Parser” é responsável pela leitura e análise do ficheiro que contém a descrição dos arcos de sincronização associados ao documento multimédia. Este pacote é implementado utilizando uma livreria em Java™ descrita em [DOM, 2005], que disponibiliza os métodos necessários à leitura e manipulação de estruturas descritas utilizando a linguagem XML [XML]. Este pacote é ainda responsável por identificar os arcos de sincronização não satisfeitos ao longo de um percurso de apresentação, bem como a sua causa e efeito, ou seja identifica os intervalos de tempo para o qual não foi possível satisfazer o arco de sincronização e os respectivos eventos envolvidos.

O pacote “Interface com o utilizador” é responsável pela implementação dos meios necessários à interacção do utilizador (Autor) com a ferramenta DIT, bem como o de fornecer de forma estruturada e o mais compreensível possível a informação gerada pela ferramenta relativamente à análise das propriedades à consistência temporal de um documento multimédia. A interface com o utilizador foi implementada utilizando componentes disponibilizados no pacote SWING descrito em [Swing].

O pacote "RG Grafo" é o pacote onde estão implementadas as funcionalidades mais importantes da ferramenta DIT ilustradas na Figura 19, nomeadamente:

- a) Identificação e contagem dos objectos média que se verificaram durante a apresentação do documento;
- b) Verificação da consistência temporal, a partir do grafo mínimo de alcançabilidade associado ao documento;
- c) Identificação dos nós potencialmente consistentes de um percurso de uma apresentação de um documento;
- d) Identificação do tipo de indeterminismo interno/externo associado à inconsistência temporal detectada;
- e) Elaboração do traço de um percurso de apresentação de um documento associado a uma inconsistência temporal;
- f) Identificação e elaboração de uma lista com os objectos bloqueados ao longo de uma apresentação de um percurso de um documento;
- g) Identificação do tipo de inconsistência (Quantitativa/Qualitativa) associada ao percurso do documento;
- h) Identificação da controlabilidade num percurso da apresentação de um documento.

Ou seja, o pacote "RG Grafo" é responsável pela elaboração do diagnóstico às propriedades da consistência temporal de um documento multimédia, baseado em RT-LOTOS.

Na secção seguinte iremos apresentar um resumo das opções tecnológicas tomadas durante a implementação.

V.7. OPÇÕES TECNOLÓGICAS

A escolha das tecnologias a usar para a implementação do sistema revelou-se um processo complexo. A filosofia inicial para a implementação consistia na utilização do ambiente web como ambiente de execução da ferramenta a desenvolver. Tal não foi conseguido devido a questões práticas de depuração do sistema, no entanto para colmatar esta alteração o sistema foi

implementado de forma a suportar diferentes interfaces, ficando a interface do sistema DIT para ambiente web como trabalho futuro.

O funcionamento da ferramenta DIT em diferentes plataformas é um aspecto fundamental. Estudos indicam um aumento acentuado na diversidade de sistemas operativos [Legard, 2004], levando à utilização de ferramentas que permitam desenvolver aplicações que possam operar em diversos ambientes.

V.7.1.FERRAMENTAS

Apresentam-se de seguida as ferramentas utilizadas no desenvolvimento e implementação da ferramenta DIT:

1. A ferramenta de desenvolvimento “Eclipse” [Eclipse] utilizada na codificação da ferramenta DIT, é uma ferramenta do tipo IDE (*Integrated Development Environment*) desenvolvida inicialmente pela IBM [IBM] e que rapidamente passou a ser gerida por uma fundação não lucrativa. Esta ferramenta permitiu a implementação, teste e distribuição da ferramenta DIT;
2. A ferramenta “Visual Editor” [Visual-Editor] é uma plataforma de desenvolvimento de código aberto que fornece uma *framework* para a criação de interfaces gráficas com o utilizador. Esta ferramenta foi utilizada como suporte à ferramenta de desenvolvimento Eclipse na criação da interface gráfica do utilizador da ferramenta DIT.
3. A ferramenta de edição de texto “Notepad++” [NotePad++] foi utilizada na concepção de todas as especificações de documentos multimédia descritas utilizando a Técnica de Descrição Forma RT-LOTOS. Estas especificações foram depois utilizadas nos testes com o conjunto de ferramentas RTL na geração dos diversos grafos e pela ferramenta DIT nos testes realizados à geração dos diagnósticos às propriedades de consistência temporal;
4. Conjunto de ferramentas RTL [RTL] é uma aplicação da linguagem de descrição formal de restrições de tempo real RT-LOTOS. Esta ferramenta foi desenvolvida no grupo OLC (*Outils Logiciels pour la Communication*) pela equipa SFP (*Spécification Formelle de Protocoles*) do LAAS (*Laboratoire d'Analyse et d'Architectures des Systèmes*), uma subunidade do CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*). O conjunto de

ferramentas RTL foi utilizado na geração dos diversos grafos de alcançabilidade a partir das especificações RT-LOTOS necessários à ferramenta DIT;

5. A ferramenta “dot” [DOTTY] permite gerar estruturas hierárquicas ou estruturas de camadas de grafos direccionais para serem visualizadas de forma gráfica com uma ferramenta adequada. Esta ferramenta foi utilizada na conversão dos grafos de alcançabilidade gerados pelo conjunto de ferramentas RTL para um outro formato de forma a ser possível visualizar os respectivos grafos de forma gráfica;
6. A ferramenta “Enterprise Architect” [Systems] é uma ferramenta de modelação baseada na linguagem de modelação UML [UML]. Esta ferramenta foi utilizada na modelação de algumas partes da ferramenta DIT;
7. A ferramenta “XML Spy” [XMLSpy] é um editor da linguagem XML [XML]. Esta ferramenta foi utilizada na definição dos arcos de sincronização associados a uma especificação RT-LOTOS.

Na secção seguinte será apresentada uma breve conclusão sobre os temas abordados neste capítulo.

V.8. CONCLUSÃO

A forma como o protótipo da ferramenta DIT (diagnóstico de inconsistências temporais) foi desenvolvido e as opções de desenho que foram tomadas nomeadamente a divisão em camadas, permitem que o sistema evolua a nível da integração com outras ferramentas como a nível de disponibilidade para outras plataformas de distribuição, ou que novas funcionalidades venham a ser sugeridas e implementadas.

Finalmente julgamos que a ferramenta trás um contributo à área de investigação da verificação das propriedades de consistência em documentos multimédia, na medida em que propõe e automatiza diversos processos para a elaboração automática de um diagnóstico às propriedades de consistência temporal de um DMI.

No capítulo seguinte iremos apresentar dois dos testes realizados com a ferramenta DIT, com o objectivo de validar os seus diagnósticos.



VI. TESTES

"Program testing can be used to show the presence of bugs, but never to show their absence!"

Edsger W. Dijkstra

VI.1. INTRODUÇÃO

Com o objectivo de validar o diagnóstico às propriedades de consistência temporal de um documento multimédia, foram realizados diversos testes. Estes testes foram divididos em quatro fases distintas de acordo com os tipos de inconsistências passíveis de ocorrerem em DMI's:

1) **Quantitativas;**

- a) Com origem em **eventos não determinísticos internos** quando a duração da apresentação de um objecto média está limitada por um intervalo de tempo, não sendo possível prever o momento exacto de conclusão da sua apresentação;
- b) Com origem em **eventos não determinísticos externos** quando a duração da apresentação de um objecto média interactivo está limitada por um intervalo de tempo não sendo possível prever o momento exacto da interacção externa (do utilizador) sobre este objecto média, porque tal momento não é controlável pela estrutura do documento;
- c) Com origem nas durações **determinísticas incompatíveis** quando a duração da apresentação de um ou mais objectos média sendo apresentados em paralelo impedem a sincronização dos respectivos processos numa determinada altura;

3) **Qualitativas;**

- a) Com origem nas restrições descritas pelos **arcos de sincronização**, quando estes colocam em causa a estrutura de relações do documento multimédia independentemente da duração dos objectos média envolvidos na apresentação e impedem a apresentação do documento multimédia ou parte desta.

Para a demonstração dos diagnósticos gerados às propriedades de consistência de documentos multimédia pela ferramenta DIT, iremos apresentar dois dos testes realizados. Por questões práticas de apresentação, foram utilizados pequenos cenários que apresentam o tipo de inconsistências que poderão surgir em documentos multimédia com um número de restrições temporais e objectos média muito maior tornando a detecção de inconsistências menos óbvia.

A apresentação dos testes está dividida em três secções: Na secção VI.2 apresentamos o primeiro teste que está relacionado com um documento multimédia potencialmente consistente e cujo cenário é ilustrado na Figura 41. Este cenário inclui na sua descrição eventos não determinísticos internos (associados ao objecto média designado por "A") e eventos não determinísticos externos (associados ao objecto média interactivo designado por "B").

Na secção VI.3 apresentamos o segundo teste que está relacionado com um documento multimédia inconsistente e cujo cenário é ilustrado na Figura 52. Este cenário inclui na sua descrição uma inconsistência temporal do tipo quantitativa, cuja origem da inconsistência está associada às durações determinísticas incompatíveis dos respectivos objectos média e na secção VI.4 apresentamos uma breve conclusão sobre este capítulo.

VI.2. TESTE 1 – CENÁRIO COM NÃO DETERMINISMO

Este teste tem como objectivo verificar o resultado do diagnóstico às propriedades de consistência do DMI gerado pela ferramenta DIT, quando esta analisa um cenário que é potencialmente consistente. A inconsistência é do tipo quantitativa e tem origem no indeterminismo interno do objecto designado por "A" e no indeterminismo externo associado ao objecto média interactivo designado por "B". Este indeterminismo leva a que para determinadas durações de apresentação dos objectos média, não seja possível que a apresentação ocorra de acordo com a estrutura especificada no documento multimédia.

VI.2.1. APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO

O cenário associado ao primeiro teste é o ilustrado na Figura 41.

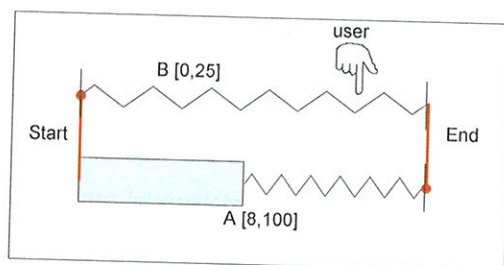


Figura 41 – Teste 1, Apresentação Potencialmente Consistente

O cenário do documento multimédia ilustrado na Figura 41, consiste numa apresentação que é composta pelos objectos média designados por "A" e "B", com as respectivas durações de [8,100] e [0,25], apresentados em paralelo, com as seguintes restrições:

- a) O objecto média "B" inicia a sua apresentação em simultâneo com a apresentação do objecto média "A";
- b) O fim da apresentação do objecto média interactiva "B" ocorre: Quando a apresentação deste objecto chega ao fim ($t=25$), ou quando a apresentação do objecto média interactiva "B" é interrompida pela interacção do utilizador;
- c) O fim da apresentação do objecto média "B" conduz ao fim da apresentação do objecto média "A".

O evento não determinístico interno neste cenário está associado ao objecto média "A", visto a duração da sua apresentação estar limitada ao intervalo de tempo [8,100] e não ser possível prever o momento exacto de conclusão da sua apresentação. O evento não determinístico externo está associado ao objecto média interactivo "B" cuja duração de apresentação está limitada ao intervalo de tempo [0,25] e não ser possível prever o momento exacto da interacção externa (do utilizador) sobre este objecto média, porque tal momento não é controlável pela estrutura do documento.

De uma forma clara, pode-se verificar que a inconsistência deste cenário, reside no facto de o objecto média "A" não estar disponível para respeitar a restrição de sincronização com o fim da apresentação do objecto média "B", caso exista uma interacção do utilizador sobre este objecto interactivo no intervalo [0,8 [.

VI.2.2. APLICAÇÃO DA "ABORDAGEM PROPOSTA PARA O DIAGNÓSTICO DA CONSISTÊNCIA DE DMI'S"

Tendo por base a abordagem para o diagnóstico da consistência de DMI's apresentada na secção IV.2 deste documento, segue-se a aplicação prática dessa mesma abordagem.

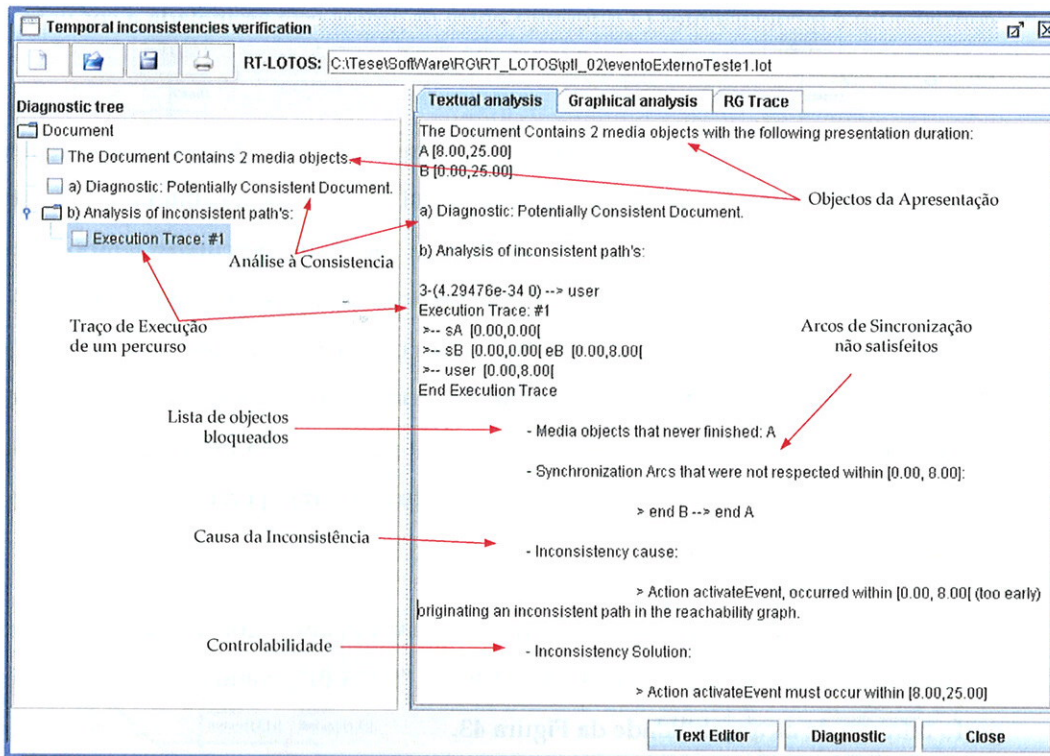


Figura 42 - Teste 1, Visão Geral do Diagnóstico

A Figura 42 ilustra o diagnóstico às propriedades de consistência temporal gerado pela ferramenta DIT para o cenário ilustrado na Figura 41. Este diagnóstico foi gerado seguindo os passos descritos na Figura 19 da secção IV.2 e cujos resultados são apresentados na área do respectivo ecrã identificada como "Textual Analysis" e estruturado na área do mesmo ecrã identificada por "Diagnostic Tree". Segue-se a descrição da execução de cada um desses passos apresentados nesta abordagem:

- 1) O primeiro passo consiste na **Identificação dos objectos média do documento multimédia** e do seu respectivo número. Neste exemplo foram identificados dois objectos média designados por "A" e "B";
- 2) Tendo por base a **análise às propriedades de consistência temporal** realizada ao grafo mínimo de alcançabilidade ilustrado na Figura 43 derivado da especificação RT-LOTOS associada ao cenário ilustrado na Figura 41, com o intuito de produzir um de três resultados (documento Consistente, Inconsistente ou Potencialmente Consistente). Verificamos que o cenário do **documento multimédia é Potencialmente Consistente**, visto existirem percursos temporalmente consistentes (ilustrados no grafo de cor preta) e percursos temporalmente inconsistentes (ilustrados no grafo de cor vermelha). Este diagnóstico é verificado uma vez que foi possível derivar o grafo mínimo de alcançabilidade consistente que é ilustrado na Figura 44, e este apresenta diferenças em relação ao grafo mínimo de alcançabilidade que inclui os percursos temporalmente

consistentes e inconsistentes (a diferença entre os grafos está assinalada a cor vermelha na Figura 43).

- 3) Para a identificação dos **nós potencialmente consistentes** existentes na apresentação, recorre-se na prática à sobreposição do grafo mínimo de alcançabilidade consistente sobre o grafo mínimo de alcançabilidade que inclui os percursos temporalmente consistentes e inconsistentes. Todos os vértices e transições não cobertos são identificados como percursos inconsistentes (a cor vermelha) como se pode ver pela ilustração da Figura 43. Os nós potencialmente consistentes são os nós que dão origem a uma transição (de cor vermelha) que conduz a um percurso inconsistente, e origem de uma transição (de cor preta) que conduz a um percurso consistente ou potencialmente consistente.

Neste caso, existem apenas dois nós potencialmente consistentes que estão identificados pelas classes "3-(4.29476e-34 0)" e "6-(25 0)", como se pode verificar no grafo mínimo de alcançabilidade da Figura 43.

Nota: Os restantes passos deste teste serão apenas aplicados ao percurso inconsistente que inclui no seu traço o nó potencialmente consistente representado pela classe "3-(4.29476e-34 0)" e a transição "user" que representa uma interacção do utilizador (percurso que a partir da classe "3-(4.29476e-34 0)" está representado a cor vermelha na Figura 43).

- 4) Para a **identificação do tipo de indeterminismo** (interno/externo) associado a uma inconsistência com origem num nó potencialmente consistente, começa-se por identificar a primeira acção que ocorre no percurso inconsistente em análise.

Assim, no percurso em análise, a primeira acção que encontramos representa uma interacção com o utilizador (*user*), logo podemos determinar que o **percurso inconsistente teve origem num evento não determinístico externo**, provocado pela interacção do utilizador sobre o objecto interactivo "B". Como consequência, essa interacção conduz a apresentação a uma inconsistência temporal, sendo o bloqueio da apresentação do objecto média "A", o efeito prático da inconsistência;

- 5) Antes da elaboração do traço de execução do percurso inconsistente ilustrado pelo grafo mínimo de alcançabilidade da Figura 45, é necessário identificar os intervalos de tempo absoluto de permanência em cada classe do grafo. Os intervalos obtidos servirão para determinar os intervalos de tempo de ocorrência dos eventos no traço de execução de um percurso, identificar intervalos de tempo de inconsistência de eventos com não determinismo interno/externo ou representar graficamente um percurso para utilização na elaboração do traço de execução e nos passos seguintes desta abordagem.

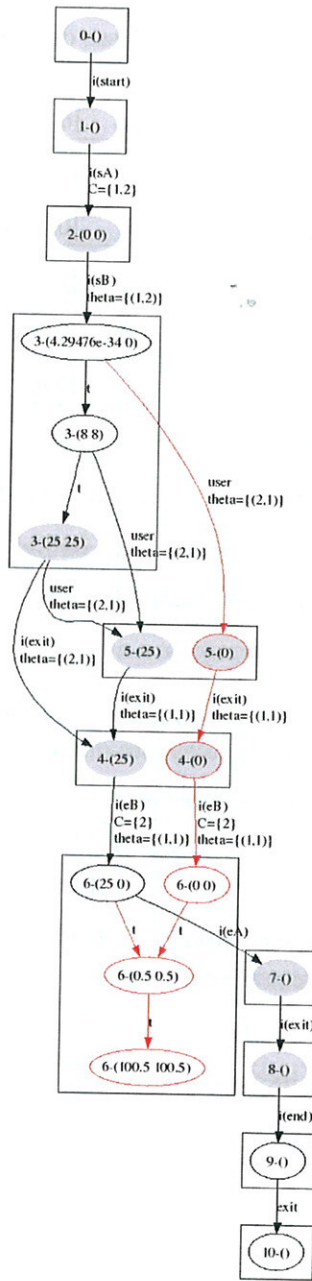


Figura 43 – Teste 1, Grafo Mínimo de Alcançabilidade

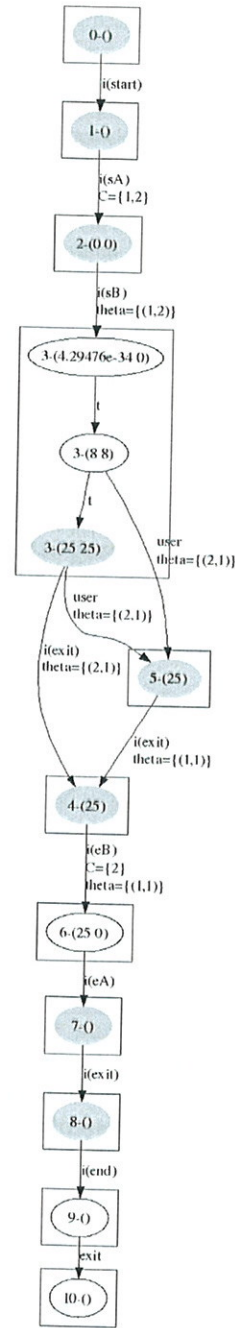


Figura 44 – Teste 1, Grafo Mínimo de Alcançabilidade Consistente

Por questões práticas, visto já termos demonstrado o algoritmo na secção IV.4, vamos apenas apresentar na Tabela 10 os intervalos obtidos para a permanência em cada classe do grafo, ilustrado na Figura 45, e na Tabela 11 os intervalos de tempo em que poderão ocorrer os respectivos eventos.

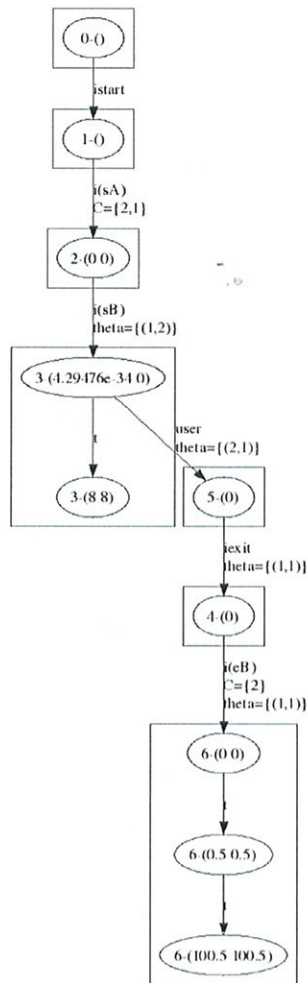


Figura 45 - Teste 1, Grafo Mínimo de Alcançabilidade associado ao Percurso Inconsistente

Tabela 10 - Teste 1, Intervalos de tempo de permanência em cada classe do grafo

1) Classe "0-(0)"	[0.00, 0.00]
2) Classe "1-(0)"	[0.00, 0.00]
3) Classe "2-(0 0)"	[0.00, 0.00]
4) Classe "3-(4.29476e-34 0)"	[0.00, 8.00[
5) Classe "3-(8 8)"	[8.00, 8.00]
6) Classe "5-(0)"	[0.00, 8.00]
7) Classe "4-(0)"	0.00, 8.00]
8) Classe "6-(0 0)"	[0.00, 8.00]
9) Classe "6-(0.5 0.5)"	[0.50, 100.50[
10) Classe "6-(100.5 100.5)"	[0.50, 100.50[

Tabela 11 - Teste 1, Intervalo de tempo associado a cada evento do percurso

sA	[0.00, 0.00]
sB	[0.00, 0.00]
Activate Event (user)	[0.00, 8.00[
eB	[0.00, 8.00[
eA	Não ocorreu

O **traço de execução** representa a sequência de acontecimentos que ocorreram durante a apresentação de um percurso de um documento multimédia, e é composto por: Identificação do traço; Identificação dos eventos; Identificação das interações dos utilizadores; Identificação dos intervalos de tempo em que poderão ocorrer os eventos, e, identificação da estrutura de apresentação. Neste exemplo, foi gerado o traço de execução ilustrado na Figura 46, que representa o percurso ilustrado pelo grafo da Figura 45. Além dos intervalos de tempo acima referidos, o traço de execução de um percurso indica que a apresentação dos objectos média "A" e "B" e a interacção do utilizador podem ocorrer em paralelo;

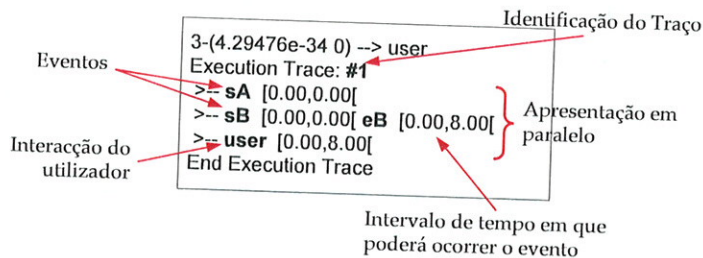


Figura 46 - Teste 1, Traço de execução

- 6) Todos os percursos temporalmente inconsistentes incluem normalmente objectos média que não terminaram a sua apresentação, causados por bloqueios ou comportamentos não previstos. A lista dos **objectos média bloqueados** (não terminaram a sua apresentação) no percurso em análise, é gerada percorrendo o grafo mínimo de alcançabilidade identificando todos os objectos média para os quais foi verificado a ocorrência da acção que representa o seu início de apresentação (ex: sA), mas não se verificou a ocorrência da acção que representa o fim da sua apresentação (ex: eA). Neste caso em concreto, o objecto que não terminou a sua apresentação foi o **objecto média designado por "A"**, aliás esta informação já se encontra subjacente no traço de execução.
- 7) Os **arcos de sincronização** assumem um comportamento de "condição - acção", em que a condição representa o evento de activação da restrição descrita pelo arco de sincronização e a acção representa o evento que deve surgir após activação do respectivo arco de sincronização.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<ASs>
  <AS>
    <ID>ID1</ID>
    <Source>B</Source>
    <SourceEvent>Activate Event</SourceEvent>
    <Target>B</Target>
    <TargetAction>end</TargetAction>
  </AS>
  <AS>
    <ID>ID2</ID>
    <Source>B</Source>
    <SourceEvent>end</SourceEvent>
    <Target>A</Target>
    <TargetAction>end</TargetAction>
  </AS>
  <AS>
    <ID>ID3</ID>
    <Source>A</Source>
    <SourceEvent>start</SourceEvent>
    <Target>B</Target>
    <TargetAction>start</TargetAction>
  </AS>
</ASs>
```

Figura 47 - Teste 1, Arcos de Sincronização

Para determinar os arcos de sincronização cujas restrições não foram satisfeitas ao longo de um percurso, basta verificar se apenas um dos eventos associados à execução de um arco de sincronização, consta dos eventos gerados nesse mesmo percurso.

Neste exemplo, e de acordo com as restrições descritas pelos arcos de sincronização (ilustrados na Figura 47) verificou-se que **não foi possível satisfazer as condições de execução definidas pelo arco de sincronização identificado pela designação "ID2"**, visto o fim da apresentação do objecto média "B" (eB) ter ocorrido, sem no entanto se ter verificado em simultâneo o respectivo fim da apresentação do objecto média "A" (eA).

- 8) As **causas das inconsistências temporais** verificadas num documento multimédia estão sempre de algum modo directamente relacionadas com uma ou mais restrições impostas à estrutura de apresentação do documento, de tal forma que a sua solução passa pela identificação:
- a. Das **restrições** que conduzem a apresentação a uma inconsistência temporal;
 - b. Dos **intervalos de tempo** em que a implementação dessas restrições conduzem a apresentação a uma situação de inconsistência temporal, e se existirem, identificar os intervalos de tempo em que a implementação dessas restrições não conduzem a apresentação a uma situação de inconsistência temporal (controlabilidade);
 - c. Dos **eventos** condição de activação das restrições que conduzem a apresentação a uma situação de inconsistência temporal e os respectivos eventos acção (arcos de sincronização).

No caso deste exemplo, foram identificados:

- a. Que existe uma restrição que a ser executada conduz a apresentação a uma situação de inconsistência temporal. Essa restrição é implementada pelo arco de sincronização designado por "ID1" e ilustrado na Figura 47;
- b. O intervalo de tempo em que a restrição é activada e conduz a apresentação a uma situação de inconsistência temporal é o intervalo $[0,8[$, que corresponde ao intervalo de execução do evento de activação da restrição;
- c. Os eventos envolvidos na restrição são os eventos descritos no arco de sincronização designado por "ID1" (ilustrado na Figura 47), que tem como evento condição de activação a interacção do utilizador (*user*) sobre a apresentação e o evento acção "eB".

Após a identificação da causa da inconsistência temporal (restrição, intervalo de activação, eventos envolvidos) do percurso em análise do documento, podemos no passo seguinte classificar o tipo de inconsistência que ocorreu.

- 9) A **classificação do tipo de inconsistência** deve estar associada às inconsistências Quantitativa ou Qualitativa. Assim a inconsistência é classificada como quantitativa, se a sua origem estiver associada à duração da apresentação dos objectos, ou qualitativa se a inconsistência se verificar, independentemente das durações da apresentação dos respectivos objectos. Neste exemplo foram tidos em conta os seguintes factos na classificação da inconsistência:
- a) A inconsistência teve origem num nó potencialmente consistente;
 - b) Verifica-se apenas para o sub intervalo de tempo $[0,8[$ do intervalo $[0,25]$ disponível para a apresentação do objecto envolvido;
 - c) O evento "user" que desencadeou a inconsistência no percurso (inconsistente) em análise, ocorreu num percurso consistente (com origem no nó potencialmente consistente "3-(4.29476e-34 0)" comum ao percurso inconsistente em análise) no sub intervalo de tempo $[8,25]$ do intervalo disponível para ocorrência deste evento, sem que tal conduza a apresentação a uma inconsistência temporal.

Estes factos levam a concluir que a ocorrência da inconsistência depende directamente da duração da apresentação do objecto média interactivo "B", logo a inconsistência gerada está associada à duração da apresentação dos objectos média, como tal, **trata-se de uma inconsistência do tipo Quantitativa**.

- 10) Quando a inconsistência detectada é classificada como quantitativa, e esta tem origem num nó potencialmente consistente, é possível oferecer uma solução para a resolução da inconsistência detectada. Essa solução é obtida através da realização de ajustes na duração dos objectos a apresentar. Esse ajuste à duração dos objectos, também conhecido por **controlabilidade** permite encontrar um intervalo de tempo, dentro do qual a apresentação é consistente. Tendo em conta que neste exemplo:
- a. No passo dois foi identificado o nó potencialmente consistente, **identificado pela classe "3-(4.29476e-34 0)";**
 - b. No passo três foi identificado o evento e a origem da inconsistência, **ou seja a inconsistência surgiu a partir de um evento com não determinismo externo,** neste caso uma interacção do utilizador, representado pela acção "user";

Como a inconsistência teve origem num nó potencialmente consistente, e sabemos qual o evento que o provocou, poderá existir num dos percursos consistentes este nó (classe “3-(4.29476e-34 0)”), que inclua um intervalo de tempo no qual a mesma acção ocorre, sem que se verifique alguma inconsistência. Este será o intervalo oferecido pela controlabilidade, ou seja dentro o intervalo de tempo em que o evento “user” pode ocorrer, foi calculado um sub intervalo para o qual a sua execução não conduz a um percurso inconsistente, que neste caso é o intervalo de tempo [8,25].

11) A **elaboração de um diagnóstico** que identifique as inconsistências temporais de um documento, como o ilustrado na Figura 42, Figura 48 e Figura 49, baseia-se na estruturação de toda a informação recolhida nos dez passos anteriores. Como se pode verificar, toda a informação gerada no diagnóstico é armazenada numa estrutura em árvore e esta foi seleccionada por questões de navegação entre os níveis de diagnóstico gerais e os detalhados. O diagnóstico encontra-se organizado em três níveis (ver Figura 42, *Diagnostic Tree*), em que:

- a. O **primeiro nível** (raiz da árvore) **representa o documento em análise**. Associado a este nível está a especificação RT-LOTOS, ilustrada na Figura 48, resultante da tradução automática da descrição de alto nível do DMI;
- b. O **segundo nível** é composto por três itens (ver Figura 42, *Diagnostic Tree*): **Objectos da Apresentação**; **Análise à Consistência**; e a **Análise dos percursos inconsistentes**;

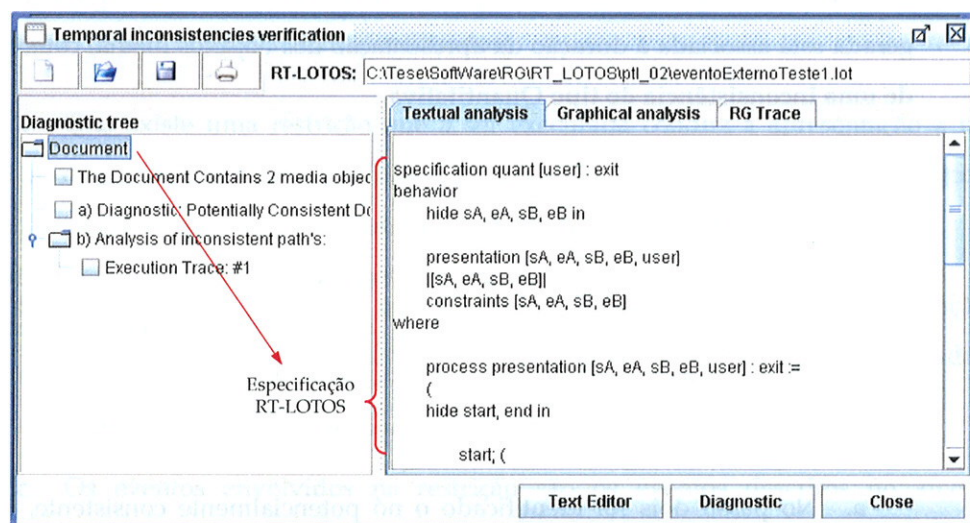


Figura 48 - Teste 1, Especificação RT-LOTOS associado ao cenário ilustrado na Figura 41

- c. O **terceiro nível** contém o detalhe da **análise aos percursos inconsistentes** ilustrados na Figura 42 e a **representação gráfica dos percursos** ilustrada na

Figura 49, onde se inclui os traços de execução, lista de objectos bloqueados, arcos de sincronização não satisfeitos, causas da inconsistência e controlabilidade.

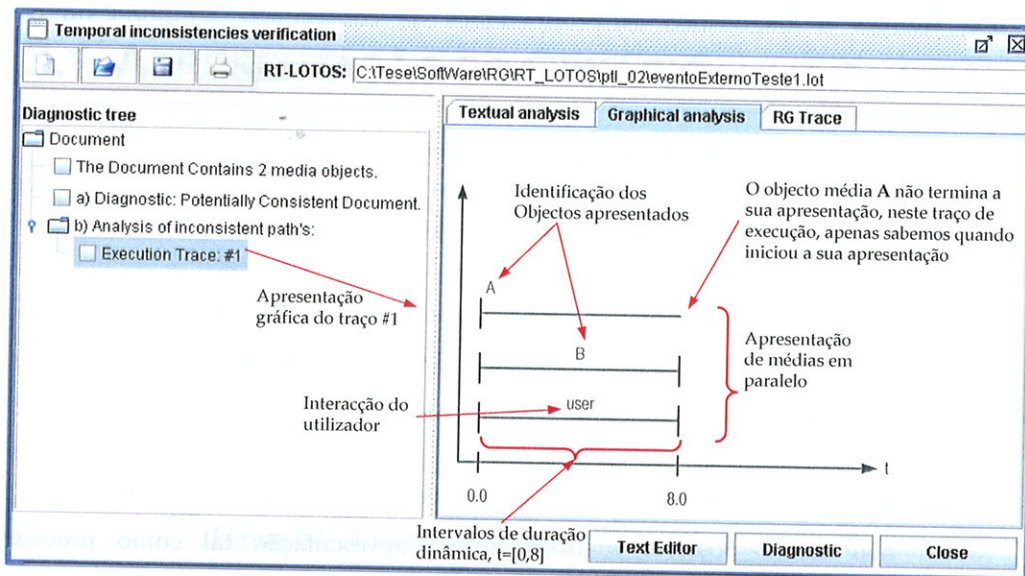


Figura 49 - Teste 1, Representação Gráfica do Percurso #1 associado ao cenário ilustrado na Figura 41

A representação gráfica ilustrada na Figura 49 do traço de execução em análise dá-nos a possibilidade de visualmente verificarmos a sequência de acontecimentos que ocorreram ao longo de um percurso da apresentação do documento multimédia. Esta representação fornece ainda a seguinte informação:

- A apresentação deste percurso é interactiva (visto o utilizador estar representado pelo evento "user") e é composta por dois objectos média "A" e "B";
- Existem três linhas de apresentação em paralelo que podem gerar eventos;
- A apresentação neste percurso durou no máximo 8 unidades de tempo;
- O objecto média "A" não chegou a terminar a sua apresentação (representado por uma semi-recta);
- O utilizador (representado pelo "user") pode interagir com o cenário ao longo das 8 unidades de tempo de apresentação deste percurso;
- O objecto média "B" e a interacção do utilizador com o cenário têm uma duração de apresentação não determinística (duração representada pelo segmento de recta), o objecto média "A" por não ter terminado a sua apresentação também foi considerado como tendo uma duração de apresentação não determinística.

VI.2.3. AVALIAÇÃO DO DIAGNÓSTICO

Em resumo o diagnóstico às propriedades da consistência temporal do cenário analisado e ilustrado na Figura 42 e na Figura 49, concluímos que:

- a. A apresentação é formada por dois objectos designados por "A" e "B";
- b. A apresentação é potencialmente consistente;
- c. A interacção do utilizador com o objecto média "B" durante o intervalo de tempo $[0,8[$, provoca uma inconsistência temporal com origem num evento não determinístico externo (interacção do utilizador);
- d. Devido a essa inconsistência, a apresentação do objecto média "A" bloqueia, não sendo possível finalizar a sua apresentação tal como previsto na especificação;
- e. Não é possível satisfazer o arco de sincronização "ID2" ilustrado na Figura 47, visto o fim da apresentação do objecto média "B" ocorrer numa altura em que não era possível terminar em simultâneo a apresentação do objecto média "A";
- f. A inconsistência é causada pela interacção do utilizador sobre o objecto média interactivo "B", num intervalo de tempo limitado a $[0,8[$. A inconsistência está associada à duração de apresentação ou disponibilidade de interacção, sendo por este motivo classificada de inconsistência quantitativa;
- g. A solução para a inconsistência, passa pela limitação da disponibilidade de interacção do objecto média interactivo (controlabilidade) ao intervalo de tempo $[8,25]$.

VI.3. TESTE 2 – CENÁRIO COM INCONSISTÊNCIA DO TIPO QUANTITATIVA

Este teste tem como objectivo verificar o resultado do diagnóstico às propriedades de consistência do DMI gerado pela ferramenta DIT, quando esta analisa um cenário que é inconsistente. A inconsistência é do tipo quantitativa e tem origem nas durações de

apresentação incompatíveis dos objectos média não permitindo que a apresentação ocorra de acordo com a estrutura especificada no documento multimédia.

VI.3.1. APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO

O cenário associado ao primeiro teste é o ilustrado na Figura 50.

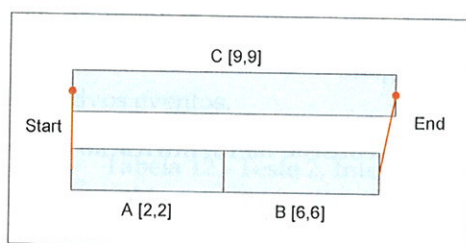


Figura 50 – Teste 2, Apresentação com Inconsistência Quantitativa

O cenário do documento multimédia ilustrado na Figura 50, consiste numa apresentação que é composta pelos objectos média designados por "A", "B" e "C", com as respectivas durações de [2,2], [6,6] e [9,9], apresentados seguindo uma estrutura paralela do objecto média "C" com a sequência da apresentação dos objectos média "A" e "B". As restrições associadas ao documento são as que se seguem:

- a) O objecto média "C" inicia a sua apresentação em simultâneo com a apresentação do objecto média "A";
- b) O fim da apresentação do objecto média "B" conduz ao fim da apresentação do objecto média "C", terminando assim ambas as apresentações em simultâneo;

A inconsistência deste cenário reside no facto da apresentação da sequência dos objectos média "A" e "B", ter uma duração inferior à duração da apresentação do objecto média "C", não sendo possível satisfazer o arco de sincronização que impõe a restrição dos objectos média "C" e "B" terminarem a apresentação em conjunto.

Tendo por base a abordagem para o diagnóstico da consistência de DMI's apresentada na secção IV.2 deste documento, segue-se a aplicação prática dessa mesma abordagem.

VI.3.2. APLICAÇÃO DA “ABORDAGEM PROPOSTA PARA O DIAGNÓSTICO DA CONSISTÊNCIA DE DMI’S”

A Figura 51 e a Figura 56 ilustram o diagnóstico às propriedades de consistência temporal gerado pela ferramenta DIT para o cenário ilustrado na Figura 50. Este diagnóstico foi gerado seguindo os passos descritos na Figura 19 da secção IV.2 e cujos resultados são apresentados na área do respectivo ecrã identificada como “Textual Analysis” e estruturado na área do mesmo ecrã identificada por “Diagnostic Tree”. Segue-se a descrição da execução de cada um desses passos apresentados nesta abordagem:

- 1) Passo 1: O primeiro passo consiste na **Identificação dos objectos média** do documento multimédia e do seu respectivo número. Neste exemplo foram identificados três objectos média designados por “A”, “B” e “C”;

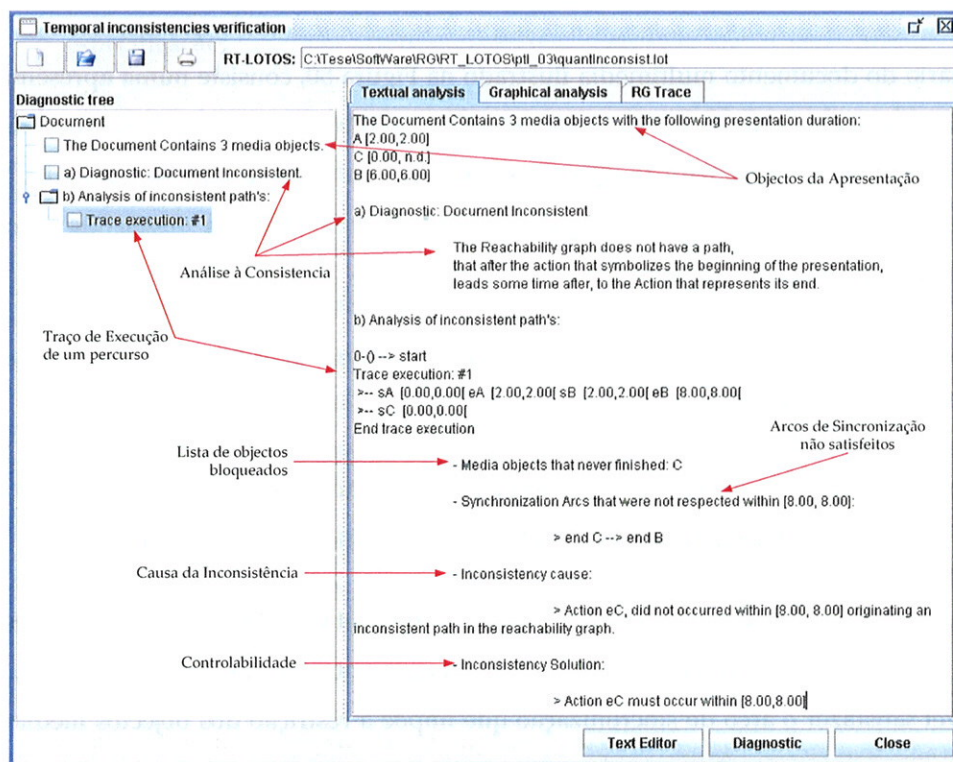


Figura 51 - Teste 2, Visão Geral do Diagnóstico, associado ao cenário ilustrado na Figura 50

- 2) Passo 2: Tendo por base a **análise às propriedades de consistência temporal** realizada ao grafo mínimo de alcançabilidade ilustrado na Figura 52 derivado da especificação RT-LOTOS associada ao cenário ilustrado na Figura 50, verificamos que o respectivo **documento multimédia é Inconsistente** visto não existir um único percurso no grafo mínimo de alcançabilidade que conduza à acção que representa o fim da apresentação

partindo da acção que representa o seu início, logo também não é possível derivar o grafo mínimo de alcançabilidade consistente.

- 3) Passo 5: Antes da elaboração do traço de execução do percurso inconsistente, ilustrado pelo grafo mínimo de alcançabilidade da Figura 52, é necessário identificar os intervalos de tempo absoluto de permanência em cada classe do grafo, para utilização na elaboração do traço de execução e nos passos seguintes desta abordagem.

Por questões práticas, visto já termos demonstrado o algoritmo na secção IV.4, vamos apenas apresentar na Tabela 12 os intervalos obtidos para a permanência em cada classe do grafo ilustrado na Figura 52, e na Tabela 13 os intervalos de tempo em que poderão ocorrer os respectivos eventos.

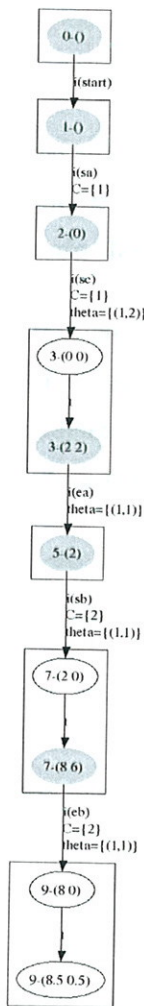


Figura 52 - Teste 2, Grafo Mínimo de Alcançabilidade

Tabela 12 - Teste 2, Intervalos de tempo de permanência em cada classe do grafo, ilustrado na Figura 52

1) Classe "0-0"	[0.00, 0.00]
2) Classe "1-0"	[0.00, 0.00]
3) Classe "2-(0 0)"	[0.00, 0.00]
4) Classe "3-(0 0)"	[0.00, 2.00]
5) Classe "3-(2 2)"	[2.00, 2.00]
6) Classe "5-(2)"	[2.00, 2.00]
7) Classe "7-(2 0)"	[2.00, 8.00]
8) Classe "7-(8 6)"	[8.00, 8.00]
9) Classe "9-(8 0)"	[8.00, 8.00]
10) Classe "9-(8.5 0.5)"	[8.50, 8.50]

Tabela 13 - Teste 2, Intervalo de tempo associado a cada evento do percurso, ilustrado na Figura 52

sA	[0.00, 0.00]
sC	[0.00, 0.00]
eA	[2.00, 2.00]
sB	[2.00, 2.00]
eB	[8.00, 8.00]
eC	Não ocorreu

O traço de execução, representa a sequência de acontecimentos que ocorreram durante a apresentação de um percurso de um documento multimédia, sendo composto por: Identificação do traço, identificação dos eventos, identificação das interações dos

utilizadores, identificação dos intervalos de tempo em que poderão ocorrer os eventos e identificação da estrutura de apresentação. Neste exemplo, foi gerado o traço de execução ilustrado na Figura 53, que representa o percurso ilustrado pelo grafo da Figura 52. Além dos intervalos de tempo acima referidos, o traço de execução de um percurso indica ainda a estrutura de apresentação dos objectos média "A", "B" ocorrem em paralelo com a apresentação do objecto média "C".

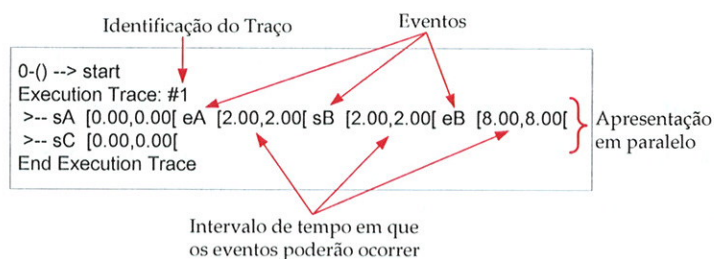


Figura 53 - Teste 2, Traço de Execução do Percurso ilustrado na Figura 52

- 4) Passo 6: A lista dos objectos média bloqueados (objectos média que não terminaram a sua apresentação), no percurso em análise, resume-se a um objecto média designado por "C", aliás esta informação já se encontra subjacente no traço de execução.
- 5) Passo 7. De acordo com os arcos de sincronização ilustrados na Figura 54, não foi possível satisfazer as condições de execução do arco de sincronização identificado pela designação "ID1", visto o fim da apresentação do objecto média B, ter ocorrido (eB) em $t=8$, mas não se ter verificado o fim da apresentação do objecto média C (eC), visto este só estar disponível em $t=9$.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<ASs>
  <AS>
    <ID>ID1</ID>
    <Source>B</Source>
    <SourceEvent>end</SourceEvent>
    <Target>C</Target>
    <TargetAction>end</TargetAction>
  </AS>
  <AS>
    <ID>ID2</ID>
    <Source>A</Source>
    <SourceEvent>start</SourceEvent>
    <Target>C</Target>
    <TargetAction>start</TargetAction>
  </AS>
</ASs>
  
```

Figura 54 - Teste 2, Arcos de Sincronização associados ao cenário ilustrado na Figura 50

- 6) Passo 8: As causas das inconsistências temporais verificadas num documento multimédia estão sempre de algum modo directamente relacionadas com uma ou mais restrições impostas à estrutura de apresentação do documento, de tal forma que a sua solução passa pela identificação de:

- a. Das **restrições** que conduzem a apresentação a uma inconsistência temporal;
- b. Dos **intervalos de tempo** em que a implementação dessas restrições conduzem a apresentação a uma situação de inconsistência temporal, e se existirem, identificar os intervalos de tempo em que a implementação dessas restrições não conduzem a apresentação a uma situação de inconsistência temporal;
- c. Dos **eventos** condição de activação das restrições que conduzem a apresentação a uma situação de inconsistência temporal e os respectivos eventos acção.

No caso deste exemplo, foram identificados:

- a. Uma **restrição** que a ser executada conduz a apresentação a uma situação de inconsistência temporal. Essa restrição é implementada pelo arco de sincronização designado por "ID1" e ilustrado na Figura 54;
- b. O **intervalo de tempo** em que a restrição é activada e conduz a apresentação a uma situação de inconsistência temporal, corresponde ao intervalo de execução do evento de activação da restrição;
- c. Os **eventos** envolvidos na restrição são os eventos descritos no arco de sincronização designado por "ID1" (ilustrado na Figura 54), que tem como evento condição de activação "eB" e o evento acção "eC".

Após a identificação da causa da inconsistência temporal (restrição, intervalo de activação, eventos envolvidos) do percurso em análise do documento, podemos no passo seguinte classificar o tipo de inconsistência que ocorreu.

- 7) Passo 9: A **classificação do tipo de inconsistência** deve estar associada a uma das inconsistências Quantitativa ou Qualitativa. Assim a inconsistência é classificada como quantitativa se a sua origem estiver relacionada com a duração da apresentação dos objectos, ou qualitativa se a inconsistência se verificar independentemente das durações da apresentação dos respectivos objectos. Neste exemplo, a inconsistência tem origem num arco de sincronização em que não foi possível reunir as condições necessárias à sua execução no intervalo e tempo [8,8] (intervalo da ocorrência do evento "eB" que activa a restrição descrita pelo arco de sincronização não satisfeito). Neste mesmo intervalo, o objecto média "C" (que irá produzir o evento alvo do arco de sincronização) está sendo apresentado sem no entanto, estar disponível para produzir o evento "eC" necessário à satisfação das condições de execução do arco de sincronização.

Como o arco de sincronização foi activado e o evento acção “eC” não está associado a mais nenhuma restrição, podemos concluir que, a **inconsistência é do tipo quantitativa** visto a duração de apresentação do objecto média “C” impedir a execução da restrição descrita pelo arco de sincronização “ID1” no intervalo de tempo [8,8].

- 8) Passo 10: Quando a inconsistência detectada é classificada como quantitativa (e neste caso está associada a um objecto média em execução), é possível oferecer uma solução (intervalo de controlabilidade) para resolver a inconsistência detectada. Tendo em conta que neste exemplo:
 - a. No passo dois foi identificado que o documento é inconsistente;
 - b. No passo sete e oito foi identificado o arco de sincronização cujas condições necessárias à sua execução não foram satisfeitas, identificados os eventos (“eB” e “eC”) e respectivos objectos média “B” e “C” envolvidos na restrição e o intervalo de tempo em que ela ocorre;
 - c. No passo nove foi identificado o tipo de inconsistência associado à não satisfação das condições necessárias à execução do arco de sincronização;

Como a inconsistência teve origem num arco de sincronização que fora activado (pelo evento condição) sem o objecto média “C” estar disponível para produzir o evento acção (“eC”) no intervalo de tempo [8,8] necessário à satisfação das condições de execução do arco de sincronização “ID1”. Logo a inconsistência é do tipo quantitativa e o intervalo de tempo oferecido para a controlabilidade da apresentação associado ao evento “eC” seja o intervalo de tempo [8,8] que satisfaz a respectiva restrição descrita no arco de sincronização “ID1”.

- 9) Passo 11: A elaboração de um diagnóstico que identifique as inconsistências temporais de um documento, como o ilustrado na Figura 51, Figura 55 e Figura 56, baseia-se na estruturação de toda a informação recolhida nos dez passos anteriores.

Como se pode verificar, toda a informação gerada no diagnóstico é armazenada numa estrutura em árvore e esta foi seleccionada por questões de navegação entre os níveis de diagnóstico gerais e os detalhados. O diagnóstico encontra-se organizado em três níveis (ver Figura 51, *Diagnostic Tree*), em que:

- a. O **primeiro nível** (raiz da árvore) **representa o documento em análise**. Associado a este nível está a especificação RT-LOTOS, ilustrada na Figura 55, resultante da tradução automática da descrição de alto nível do DMI;

- b. O segundo nível é composto por três itens (ver Figura 51, *Diagnostic Tree*): Objectos da Apresentação; Análise à Consistência; e a Análise dos percursos inconsistentes;
- c. O terceiro nível contém o detalhe da análise aos percursos inconsistentes ilustrados na Figura 51 e a representação gráfica dos percursos ilustrada na Figura 56, onde se inclui os traços de execução, lista de objectos bloqueados, arcos de sincronização não satisfeitos, causas da inconsistência e controlabilidade.

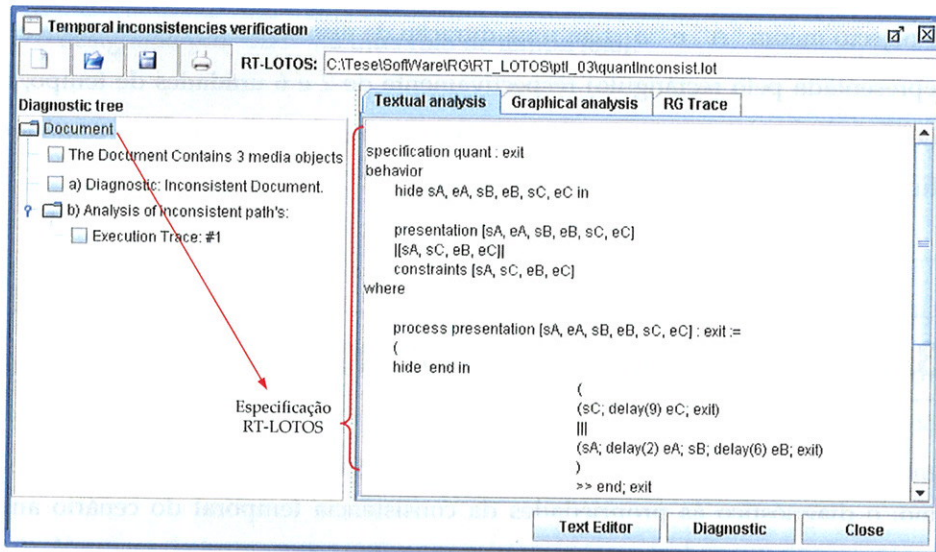


Figura 55 - Teste 2, Especificação RT-LOTOS associado ao Percurso ilustrado na Figura 52

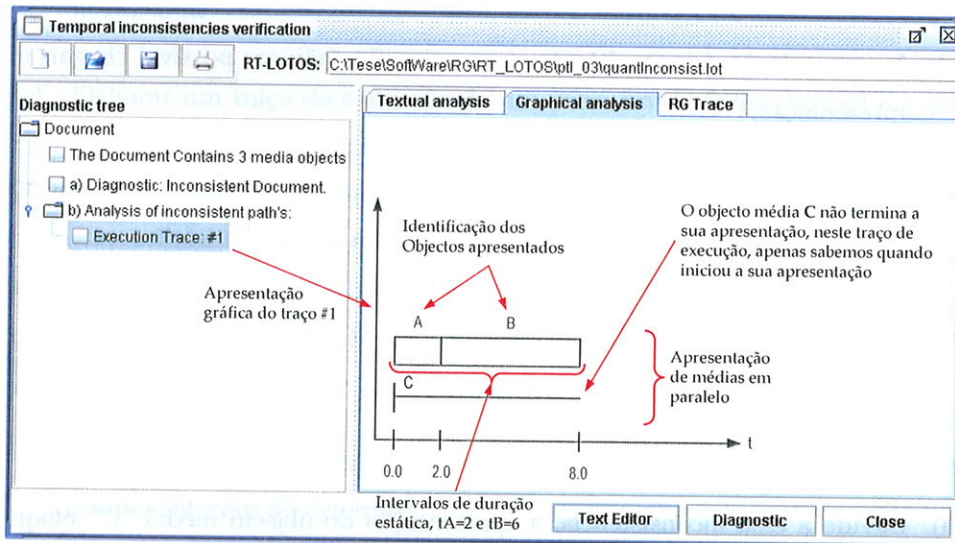


Figura 56 - Teste 2, Representação Gráfica do Percurso #1 ilustrado na Figura 52

A representação gráfica ilustrada na Figura 56 do traço de execução em análise dá-nos a possibilidade de visualmente verificarmos a sequência de acontecimentos que ocorreram ao longo de um percurso da apresentação do documento multimédia. Esta representação fornece ainda a seguinte informação:

- a. A apresentação deste percurso é composta por três objectos média "A", "B" e "C";
- b. Existem duas linhas de apresentação em paralelo de objectos média;
- c. A apresentação neste percurso durou no máximo 8 unidades de tempo;
- d. O objecto média "C" não chegou a terminar a sua apresentação (representado por uma semi-recta);
- e. O objecto média "A" e "B" têm uma duração de apresentação determinística (duração representada pelo rectângulo) respectivamente de 2 e 6 unidades de tempo, o objecto média "C" por não ter terminado a sua apresentação, foi considerado como tendo uma duração de apresentação não determinística.

VI.3.3. AVALIAÇÃO DO DIAGNÓSTICO

Em resumo, o diagnóstico às propriedades da consistência temporal do cenário analisado e ilustrado na Figura 51 e na Figura 56, concluímos que:

- a) A apresentação é formada por três objectos média designados por "A", "B" e "C";
- b) A apresentação é inconsistente, o que significa não ser possível chegar ao fim da apresentação;
- c) As condições necessárias à execução do arco de sincronização ilustrado na Figura 54, identificado pela designação "ID1", não foram satisfeitas no intervalo de activação [8,8], visto o fim da apresentação do objecto média "B" ocorrer numa altura em que não era possível terminar em simultâneo a apresentação do objecto média "C". No entanto, o arco em questão foi activado pelo evento *source* no intervalo de tempo [8,8];
- d) Devido a essa inconsistência, a apresentação do objecto média "C" bloqueia, não sendo possível finalizar a sua apresentação tal como previsto na especificação. Desta forma, a apresentação global do documento fica bloqueada, não sendo possível concluí-la;
- e) A inconsistência é causada pela restrição descrita pelo arco de sincronização que fora activada pelo evento "eB" envolvendo os objectos média designados por "B" e "C" no intervalo de tempo de activação do arco de sincronização limitado a [8,8]. A

inconsistência está associada à duração de apresentação dos objectos média determinísticos envolvidos, visto esta estar relacionada com a activação de uma restrição descrita por um arco de sincronização não satisfeito, sendo por este motivo classificada de inconsistência quantitativa;

- f) A solução para a inconsistência, passa pelo ajuste da duração do objecto média "C", de forma que, este esteja em condições de produzir o evento de fim de apresentação (eC), necessário à satisfação das condições de execução do arco de sincronização designado por "ID1" no intervalo de tempo [8,8].

VI.4. CONCLUSÃO

Como foi referido e apresentado ao longo deste capítulo, a ferramenta de diagnóstico de inconsistências temporais (DIT) demonstrou que com base nos grafos de alcançabilidade associados a uma especificação RT-LOTOS e os respectivos arcos de sincronização consegue:

- a) Verificar de forma automática a consistência temporal de um documento;
- b) Identificar os objectos média a serem apresentados e elaborar uma lista dos objectos bloqueados;
- c) Elaborar um traço de execução de um percurso de forma textual ou gráfica, que inclui não só a sequência de eventos que ocorram mas também os intervalos de tempo absolutos de ocorrência desses mesmos eventos e a sua estrutura de apresentação (sequencial/paralela);
- d) Identificar as restrições envolvidas numa inconsistência e as causas para a sua não satisfação;
- e) Classificar o tipo de inconsistência ocorrida e a sua origem, nomeadamente em eventos internos ou externos;
- f) Perante as diversas inconsistências do tipo quantitativa, oferece os intervalos de tempos para a controlabilidade dos diversos percursos;
- g) Reunir toda a informação gerada numa estrutura que facilite a navegação por parte do autor no diagnóstico elaborado.

Na secção que se segue apresentaremos algumas conclusões e perspectivas de trabalhos futuros de todo o trabalho desenvolvido e apresentado neste documento.

VII. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

In response to Java: "Anybody who thinks a little 9,000-line program that's distributed free and can be cloned by anyone is going to affect anything we do at Microsoft has his head screwed on wrong."

Bill Gates

VII.1. CONCLUSÃO

O documento multimédia desempenha um papel determinante na organização e transmissão de ideias e conhecimentos em importantes áreas da actividade humana, nomeadamente as actividades que dependem de uma comunicação eficaz para atingir os seus objectivos. O aumento da sua importância e abrangência conduziu ao inevitável aumento da complexidade na sua estrutura de relações e organização da informação.

Actualmente a questão central não passa pela definição de novas linguagens de especificação de DMI's, mas por um incentivo voraz no desenvolvimento de metodologias de suporte ao autor no seu processo de autoria, que de alguma forma conduzam à consolidação da consistência da apresentação dos seus documentos.

Neste âmbito, normalmente o autor do DMI é confrontado com duas alternativas:

1. Utilizar ferramentas de edição de documentos multimédia disponíveis no mercado que apresentam frequentemente um número reduzido de operadores e relações disponíveis para estruturar o documento multimédia, que limitam o poder de expressão do autor no processo de autoria, mas oferecem alguma garantia no que diz respeito à consistência da apresentação do documento multimédia;
2. Utilizar uma linguagem de alto nível que ofereça uma elevada liberdade e poder de expressão na especificação do documento multimédia. O grande problema com que os autores de DMI's se deparam com esta opção durante o processo de autoria, é a falta de suporte que os apoie na verificação e consolidação da consistência do seu documento multimédia;

Em qualquer das estratégias seguidas, o autor do DMI será confrontado com situações de difícil solução. As relações correspondentes às dependências temporais entre objectos definidos durante o processo de autoria do documento multimédia, podem não ser satisfeitas durante a sua apresentação.

Nesta dissertação procuramos explorar a possibilidade de suportar a especificação de DMI's utilizando uma linguagem de alto nível de forma a apoiar o autor durante o seu processo de autoria na verificação e consolidação da consistência da apresentação do seu documento

multimédia, sem, no entanto, limitá-lo na escolha da linguagem de alto nível para a especificação do DMI ou o seu poder de expressão.

Com este propósito, foi proposto uma abordagem que tem por base uma metodologia formal suportada pela TDF RT-LOTOS e o seu conjunto de ferramentas RTL. As vantagens da utilização desta metodologia na abordagem proposta são:

1. A não dependência de um modelo de autoria de alto nível em particular;
2. A transparência para o autor, visto este utilizar uma linguagem ou paradigma de alto nível na descrição do documento cujo comportamento temporal e lógico será traduzido de forma automática para uma especificação RT-LOTOS;
3. A TDF LOTOS possuir uma característica composicional que permite modelar cenários temporais complexos pela composição sucessiva de comportamentos mais simples;
4. Por ser uma TDF, possui técnicas formais de verificação da consistência, que já foram testados e aceites pela comunidade científica.
5. Tem associado um conjunto de ferramentas (conjunto de ferramenta RTL), que possibilitam a derivação da especificação RT-LOTOS num autómato temporal (**grafo mínimo de alcançabilidade**), ao qual serão aplicadas as técnicas formais de verificação da consistência desenvolvidas para esta metodologia;

As principais contribuições deste trabalho foram apresentadas em 4 pontos: (1) Proposta de um algoritmo para a verificação das propriedades de consistência de um DMI, (2) Proposta de um algoritmo para a determinação dos tempos absolutos de ocorrência dos eventos que representam o início e fim da apresentação de um objecto média e conseqüentemente a sua duração, (3) Desenvolvimento de um protótipo da ferramenta e que implementa os algoritmos propostos e, (4) Realização de testes que pretendem validar o diagnóstico às propriedades de consistência temporal de um documento multimédia.

A abordagem aqui proposta tem como principal artefacto prático o protótipo de ferramenta de verificação das propriedades de consistência temporal, que tem os seguintes objectivos:

1. Automatizar o processo de verificação das propriedades de consistência temporal definido para a TDF RT-LOTOS;
2. Identificar os percursos da apresentação do documento que conduzem a situações incoerentes;

3. Analisar as causas das incoerências e quando possível propor alterações de forma a garantir a controlabilidade da apresentação;
4. Disponibilizar a informação recolhida sob a forma de um diagnóstico textual e/ou gráfico, de forma a apoiar o autor na identificação e solução de potenciais problemas;

Relativamente às abordagens analisadas na Tabela 2 do capítulo II, o trabalho desenvolvido e aqui apresentado contribui para a Metodologia Formal para o Desenho de DMI's baseada na especificação RT-LOTOS nos seguintes aspectos:

1. Verificação de forma automática da consistência de um DMI;
2. Apoio ao processo de autoria com a disponibilização de um diagnóstico às propriedades de consistência do documento;
3. Propostas de ajustes às durações dos objectos, oferecendo possíveis soluções de flexibilidade e controlabilidade;
4. Identificação das restrições que conduziram ao aparecimento do comportamento inconsistente.

Como foi referido e apresentado ao longo desta dissertação, o trabalho aqui desenvolvido visa propor uma abordagem baseada na TDF RT-LOTOS que apoie o autor de um documento multimédia no seu processo de autoria, no que confere às questões de verificação das propriedades de consistência temporal. No entanto, existem algumas perspectivas de continuação deste trabalho que podem ser apontadas, como se descreve resumidamente na próxima secção.

VII.2. TRABALHO FUTURO

A realização de qualquer trabalho de investigação deixa sempre possibilidades de evolução em trabalhos futuros, como as que abaixo se enumera:

1. Integração das diversas ferramentas entretanto desenvolvidas;
2. Melhorar o sistema de identificação e análise dos eventos que conduzem a comportamentos incoerentes;
3. Implementar as interfaces do sistema em ambiente web;

4. Explorar outras formas de apoio ao processo de autoria para além do diagnóstico;

Segue-se uma breve descrição dos possíveis trabalhos futuros acima enumerados:

- **Integração das diversas ferramentas entretanto desenvolvidas**

Os resultados do trabalho realizado no projecto para o Desenho Formal de DMI's baseado na TDF RT-LOTOS foram obtidos por diversas pessoas, que desenvolveram várias ferramentas sem terem tido a oportunidade de realizar a respectiva integração aquando do seu desenvolvimento. Assim futuramente a integração das seguintes ferramentas deverá ser considerada:

1. Ferramenta de tradução de uma especificação de alto nível de um documento multimédia para uma especificação RT-LOTOS;
2. O conjunto de ferramentas RTL;
3. A ferramenta de Diagnóstico de Inconsistências Temporais (DIT);
4. A ferramenta de apresentação TLSA Player;

- **Melhorar o sistema de identificação e análise de situações inconsistentes**

Actualmente o algoritmo proposto apenas detecta um dos objectos envolvidos na origem de uma inconsistência. No entanto, como é óbvio qualquer tipo de inconsistência pode ter a sua origem em vários objectos média apresentados antes da ocorrência da inconsistência. Desta forma, será necessário o aperfeiçoamento do respectivo algoritmo de forma a detectar todos os objectos média e eventos que contribuíram para o aparecimento da inconsistência na apresentação de um documento multimédia.

- **Implementar as interfaces do sistema em ambiente web**

Por questões práticas, todas as interfaces do sistema foram desenvolvidas para serem executados do tipo *stand-alone* em computadores pessoais, e algumas delas não funcionam em multi-plataforma (caso do conjunto de ferramentas RTL, que apenas funciona em sistemas Linux), este facto conduz a dificuldades de divulgação e utilização. Por isso, deverá ser considerada a possibilidade de implementação das interfaces dos sistemas em ambiente web, de forma a facilitar não só a utilização como a divulgação do próprio sistema.

- **Explorar outras formas de apoio ao processo de autoria**

O diagnóstico foi a forma encontrada para apoiar o autor visto o sistema desenvolvido ter em conta apenas a verificação das propriedades do documento multimédia e não a sua edição ou processo de autoria. No entanto, apesar de não ser possível saber qual a ferramenta de edição utilizada pelo autor poderá existir outras formas mais intuitivas de suporte ao autor para além do diagnóstico que devem ser exploradas. Uma dessas hipóteses seria a integração de uma ferramenta de edição de documentos multimédia o que possibilitaria o processo ser interactivo.

Um dos principais desenvolvimentos futuros deste trabalho situa-se claramente nas imensas possibilidades de extensão, precisão, abrangência e clareza do diagnóstico às propriedades de consistência de DMI's proposto ao longo deste documento, que são colocadas pelas mais diversas situações geradas pelo poder de expressão dos autores de DMI's.

REFERÊNCIAS

- [Allen, 1983] Allen, J. (1983). *Maintaining knowledge about temporal interval*. In *Communication of ACM*, v.26(11):pp.832-843.
- [Baghdadi et al., 2006] Baghdadi, Siwar; Delakis, Manolis; Kijak, Ewa; Gros, Patrick; Sébillot, Pascale (2006). *Multimedia Document Description*. In *Technical Report Efficient Exploitation of Multimedia Documents: Exploring, Indexing and Searching in Very Large Databases*, INRIA - Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, 2006, pp.22-25.
- [Buchanan and Zellweger, 1993a] Buchanan, M. Cecelia; Zellweger, Polle T. (1993a). *Automatic Temporal Layout Mechanisms*. In *Proc. ACM MULTIMEDIA' 93, Anaheim, USA, Aug 93*.
- [Buchanan and Zellweger, 1993b] Buchanan, M. Cecelia; Zellweger, Polle T. (1993b). *Specifying temporal behavior in hypermedia documents*. In *Proceedings of the ACM conference on Hypertext, Milan, Italy 0-89791-547-X, 1992*, pp.262-271.
- [Buchanan and Zellweger, 2005] Buchanan, M. Cecelia; Zellweger, Polle T. (2005). *Automatic temporal layout mechanisms revisited*. In *ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl.*, v.1(1):pp.60 - 88, 2005.
- [Bulterman et al., 1999] Bulterman, Dick C.A.; Rutledge, Lloyd; Hardman, Lynda; Jansen, Jack; Mullender, K. Sjoerd (1999). *GRiNS: An Authoring Environment for Web Multimedia*. In *World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Educational Telecommunications, ED-MEDIA 99, Seattle, WA, USA, 1999*.
- [Candan et al., 1996] Candan, K. Selçuk; Prabhakaran, B.; Subrahmanian, V. S. (1996). *CHIMP: a framework for supporting distributed multimedia document authoring and presentation*. In *Proceedings of the fourth ACM international conference on Multimedia, Boston, Massachusetts, United States, ACM Press, 1996*, pp.329-340.

- [Chakravarthy et al., 2006] Chakravarthy, Ajay; Lanfranchi, Vitaveska; Ciravegna, Fabio (2006). *Requirements for Multimedia Document Enrichment*. In Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web, Edinburgh, Scotland ACM Press, 2006.
- [Chapman and Chapman, 2000] Chapman, Nigel P.; Chapman, Jenny (2000). *Digital Multimedia*. Wiley's, ISBN 0471983861.
- [Cortés et al., 2002] Cortés, Luis Alejandro; Eles, Petru; Peng, Zebo (2002). *Verification of Real-Time Embedded Systems using Petri Net Models and Timed Automata*. In Proceedings of the 8th International Conference on Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA 2002), Tokyo, Japan, pp.18-20, from: <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/7021/18921/00874042.pdf>.
- [Courtat et al., 1996] Courtat, J.-P.; Carmo, Luiz Fernando Rust da Costa; Oliveira, Roberto Cruz de (1996). *A general purpose Multimedia Synchronization Mechanism based on Causal Relation*. In IEEE Journal on Selected Areas in Communications, v.14(1):pp.185-195, Jan 96.
- [Courtat and Oliveira, 1995] Courtat, J.-P.; Oliveira, R. C. De (1995). *A Reachability Analysis of RT-LOTOS Specifications*. In Proc. 8th Intern. Confer. on Formal Description Techniques VIII (FORTE'95), Montreal, Quebec, Canada, Oct 1995, pp.16.
- [Courtat and Oliveira, 1996] Courtat, J.-P.; Oliveira, R. C. De (1996). *Proving Temporal Consistency in a New Multimedia Synchronization Model*. In Proceedings of the fourth ACM international conference on Multimedia, Boston, Massachusetts, United States ACM Press, Nov 1996.
- [Courtat et al., 1995] Courtat, J.-P.; Oliveira, R.C. de; Andriantsiferana, L. (1995). *Specification and Validation of Multimedia Protocols using RT-LOTOS*. In Proceedings of the 5th IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems IEEE Computer Society, 1995.
- [Courtat et al., B., 2000] Courtat, J.-P.; Santos, C.A.S.; Lohr, C.; Outtaj, B. (2000). *Experience with RT-LOTOS, a temporal extension of the LOTOS formal description technique*. In Computer Communications, July 2000.
- [Diaz and Sénac, 1994] Diaz, Michel; Sénac, Patrick (1994). *Time Streams Petri Nets, a model for multimedia streams synchronization* In Proceedings of the 15th International Conference on Application and Theory of Petri Nets, Springer-Verlag, 3-540-58152-9, 1994, pp.219-238.
- [DOM, 2005] Document Object Model (DOM). from: <http://www.w3.org/DOM/>.
- [DOTTY] DOTTY - Graphviz - Graph Visualization Software. from: <http://www.graphviz.org/>.
- [Eclipse] Eclipse an open development platform. from: <http://www.eclipse.org/>.
- [Fetterman and Gupta, 1993] Fetterman, Roger L.; Gupta, Satish K. (1993). *Mainstream Multimedia: Applying Multimedia in Business*. Van Nostrand Reinhold, Thomson Learning, ISBN 0442011814.
- [Fluckiger, 1995] Fluckiger, François. (1995). *Understanding Networked Multimedia: Applications and Technology*. London, UK, Prentice Hall, ISBN 0131909924.

- [Hardman, 1998] Hardman, Lynda (1998). *Modelling and Authoring Hypermedia Documents*. PhD Thesis, University of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands, 90-74795-93-5, p., March 1998.
- [Hardman et al., 1994] Hardman, Lynda; Rossum, Guido van; Jansen, Jack; Mullender, Sjoerd (1994). *CMIFed: A Transportable Hypermedia Authoring System*. In Proceedings of the second ACM international conference on Multimedia, San Francisco, California, United States ACM Press, 1994.
- [Hudson] Hudson, S.E. LALR Parser Generator for Java(tm). from: <http://www2.cs.tum.edu/projects/cup/>.
- [IBM] IBM. from: <http://www.ibm.com>.
- [ISO-8807] ISO-8807. International Standards Organization - LOTOS - A formal description technique based on the temporal ordering of observational behavior. from <http://www.iso.org/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMBER=16258>
- [Java(TM)] Sun Microsystems - Java(TM). from: <http://java.sun.com>.
- [JavaBeans] Sun Microsystems - JavaBeans. from: <http://java.sun.com/products/javabeans/>.
- [Jourdan et al., 1998] Jourdan, Muriel; Layaida, Nabil; Sabry-Ismail (1998). *MADEUS: an Authoring Environment for Interactive Multimedia Documents*. In Proceedings of the sixth ACM international conference on Multimedia, Bristol, United Kingdom ACM Press, 1998.
- [Kim and Song, 1995] Kim, Michelle Y.; Song, Junehwa (1995). *Multimedia Documents with Elastic Time*. In Proceedings of the third ACM international conference on Multimedia, San Francisco, California, United States, ACM Press, 0-89791-751-0, Nov. 1995, pp.143-154.
- [Klein] Klein, G. JFlex - The Fast Scanner Generator for Java. from: <http://jflex.de/>.
- [Layaida and Sabry-Ismail, 1996] Layaida, Nabil; Sabry-Ismail, Loay (1996). *Maintaining Temporal Consistency of Multimedia Documents Using Constraint Networks*. In Proceedings of the 1996 Multimedia Computing and Networking, San-José, USA, Feb. 1996, pp.124-135.
- [Legard, 2004] Legard, David (2004) *Consolidation to Windows won't happen*. from <http://www.linuxworld.com.au/index.php/id;940707233>.
- [Little and Ghafoor, 1990] Little, T.D.C.; Ghafoor, A. (1990). *Synchronization and storage models for multimedia objects*. In IEEE Journal on Selected Areas in Communications, v.8(3):pp.413-427, Apr 1990.
- [Lohr and Courtiat, 2002] Lohr, C.; Courtiat, J.-P. (2002). *From the specification to the scheduling of time-dependent systems*. In Proceedings of the 7th International Symposium on Formal Techniques in Real-Time and Fault-Tolerant Systems: Co-sponsored by IFIP WG 2.2, Oldenburg, Germany, Springer-Verlag, 3-540-44165-4, Set. 2002, pp.129-146.
- [Ma and Shin, 2000] Ma, Huadong; Shin, Kang G. (2000). *An Approach to Checking Consistency in Multimedia Synchronization Constraints*. IEEE International Conference on Multimedia and Expo (III): pp.1671-1674.

- [Ma and Shin, 2004] Ma, Huadong; Shin, Kang G. (2004). *Checking Consistency in Multimedia Synchronization Constraints*. In *IEEE Transactions on Multimedia*, v.6(4):pp.565-574.
- [Meghini et al., 1991] Meghini, Carlo; Rabitti, Fausto; Thanos; Costantino (1991). *Conceptual Modeling of Multimedia Documents*. In *Computer*, v.24(10):pp.23-30.
- [Minoli and Keinath, 1994] Minoli, Daniel; Keinath, Robert (1994). *Distributed Multimedia Through Broadband Communications Services*. Artech House, ISBN 0890066892.
- [Mirbel et al., 2000] Mirbel, I.; Pernici, B.; Sellis, T.; Tserkezoglou, S.; Vazirgiannis, M. (2000). *Checking Temporal Integrity of Interactive Multimedia Documents*. In *The VLDB Journal*, v.9(2):pp.111-130 2000.
- [Mirbel et al., 1999a] Mirbel, I.; Pernici, B.; Vazirgiannis, M. (1999a). *Integrity Constraints for Interactive Multimedia Scenarios*. In *IEEE Multimedia*, from <http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/20883/http:zSzzSzdeptinfo.unice.frzSz~mirbelzSzRecherchezSzPublizSzchor9804.pdf/integrity-constraints-for-interactive.pdf>.
- [Mirbel et al., 1999b] Mirbel, I.; Pernici, B.; Vazirgiannis, M. (1999b). *Temporal Integrity Constraints in Interactive Multimedia Documents*. In *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, Florence, Italy, 0-7695-0253-9, pp.867-871.
- [Naveh] Naveh, Barak. JGraphT - A free Java class library that provides mathematical graph-theory objects and algorithms. from: <http://sourceforge.net/projects/jgraphT/>.
- [Notepad++] Notepad++ source code editor. from: <http://notepad-plus.sourceforge.net/uk/site.htm>.
- [ODA, 1989] Specification Office Document Architecture (ODA), International Standard ISO8613. from: <http://www.mapageweb.umontreal.ca/marcoux/INTRO/42.htm>.
- [Ribeiro, 2004] Ribeiro, Nuno (2004). *Multimédia e Tecnologias Interactivas*. F C A-Editora Informática, ISBN 9727224156.
- [Rossum et al., 1993] Rossum, Guido van; Jansen, Jack; Mullender, K. Sjoerd; Bulterman, Dick C.A. (1993). *CMIFed: A Presentation Environment for Portable Hypermedia Documents*. In *Proceedings of the first ACM international conference on Multimedia*, New York, United States, ACM Press, 0-89791-596-8, 1993, pp.183-188.
- [RTL] The RT-LOTOS (Real-Time LOTOS) projet. from: <http://www.laas.fr/RT-LOTOS/>.
- [Sadani et al., 2005a] Sadani, T.; Courtiat, J.-P.; P.S.-Sannes (2005a). *Validating RT-LOTOS Specifications using the TINA tool*. In:pp.10, from <http://www.cert.fr/francais/deri/michel/FAC/2005/Papiers/31.pdf>.
- [Sadani et al., 2005b] Sadani, T.; Courtiat, J.-P.; Saqui-Sannes, P. De (2005b). *From RT-LOTOS to Time Petri Nets New Foundations for a Verification Platform*. In *Proceedings of the Third IEEE International Conference on Software Engineering and Formal Methods*, , IEEE Computer Society, Set 2005.
- [Sampaio, 2003] Sampaio, P.N.M. (2003). *Conception Formelle de Documents Multimédia Interatifs: une Approche s' Appuyant sur RT-LOTOS*. PhD Thesis, Laboratoire d'

Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS, Université Paul Sabatier de Toulouse, Toulouse, France, Rapport LAAS N° 03189, 171 p., Abr 2003.

- [Sampaio and Courtiat, 2004a] Sampaio, P.N.M.; Courtiat, J.-P. (2004a). *An Approach for the Automatic Generation of RT-LOTOS Specifications from SMIL 2.0 Documents*. In *Journal of the Brazilian Computer Society (JBCS)*, v.9(3):pp.39-51, April 2004.
- [Sampaio and Courtiat, 2004b] Sampaio, P.N.M.; Courtiat, J.-P. (2004b). *Providing the Design and presentation of consistent Interactive Multimedia Documents*. In *Proceedings of "5a. Conferência da Associação Portuguesa de Sistemas de Informação"*, Lisboa, Portugal.
- [Sampaio et al., 2001] Sampaio, P.N.M.; Courtiat, J.P.; Santos, C.A.S.; Lohr, C.; Outtaj, B. (2001). *Scheduling and presenting interactive multimedia documents*. In *IEEE International Conference on Multimedia (ICME'2001)*, Tokyo (Japan), 0-7695-1198-8, 22-25 Aug. 2001, pp.1224-1227.
- [Sampaio et al., 2000] Sampaio, P.N.M.; Santos, C.A.S.; Courtiat, J.-P. (2000). *About the Semantic Verification of SMIL Documents*. In *IEEE International Conference on Multimedia (ICME 2000)*, New York (USA), July 30th - August, pp.1675-1678.
- [Santos, 1999] Santos, C.A.S. (1999). *Une Approche formelle pour la conception et la verification de documents hypermedia*. PhD Thesis, Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS, Université Paul Sabatier de Toulouse III, Toulouse, France, Rapport LAAS N° 99470, 179 p., Nov 1999.
- [Sénac et al., 1995] Sénac, Patrick; Saqui-Sannes, Pierre de; Willrich, Roberto (1995). *Hierarchical Time Stream Petri net: A Model for Hypermedia Systems*. In *Proceedings of the 16th International Conference on Application and Theory of Petri Nets*, Torino, Italy, Springer-Verlag, Jun. 1995, pp.451-470.
- [SMIL™] Synchronized Multimedia Integration Language (SMIL™). from: <http://www.w3.org/AudioVideo/>.
- [Soares et al., 1995] Soares, L. F. G.; Casanova, M. A.; Nunes, M. V.; Souza, G.L.; Vallejos, R. (1995). *HyperProp: Uma Visão Geral*. In *I Workshop em Sistemas Hipermedia Distribuídos*, Sao Carlos-SP.
- [Swing] Sun Microsystems - Swing. from: http://en.wikipedia.org/wiki/Java_Foundation_Classes.
- [Systems] Enterprise Architect, Advanced Software Modeling Tool for UML 2.1. from: <http://www.sparxsystems.com.au/>.
- [Teixeira, 2007] Teixeira, Marco (2007). *Tradução Automática de Documentos SMIL para uma especificação RT-LOTOS*. BSc Thesis, Universidade da Madeira, Madeira, Portugal, Jul. 2007.
- [UML] UML - Unified Modeling Language™. from: <http://www.uml.org/>.
- [Vaughan, 2003] Vaughan, Tay (2003). *Multimedia: making it work*. McGraw-Hill: pp.462, ISBN 0072230002.
- [Vazirgiannis, 1999] Vazirgiannis, M. (1999). *Modeling, Authoring, and Implementation Experiences*. *Interactive Multimedia Documents*, Springer. v.1564 pp.161, ISBN 978-3-540-66711-7.

- [Visual-Editor] Eclipse Visual Editor project. from:
<http://www.eclipse.org/vep/WebContent/main.php>.
- [XML] Extensible Markup Language (XML). from: <http://www.w3.org/XML/>.
- [XMLSpy] Altova XMLSpy. from:
<http://www.altova.com/simpledownload2.html?gclid=CNjX0NLgjo0CFRHgXgodFUt0kA>.
- [Yu, 1998] Yu, Jin (1998). *A Simple, Intuitive Hypermedia Synchronization Model and its Realization in the Browser/Java Environment*. from
<http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/15692/ftp:zSzzSzftp.digital.comzSzpubzSzDECzSzSRCzSztechnical-noteszSzSRC-1997-027a.pdf/you98simple.pdf>.
- [Yu and Xiang, 1997] Yu, Jin; Xiang, Yuanyuan (1997). *Hypermedia presentation and authoring system*. In *Comput. Netw.* v.29(8-13):pp.875-886, 1997.

UMa SDA

N.º B92136

DATA: 2008/10/29