

ISSN 1677-9266

## Teste Baseado em Casos de Uso



República Federativa do Brasil

*Luiz Inácio Lula da Silva*  
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

*Roberto Rodrigues*  
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Conselho de Administração

*José Amauri Dimárzio*  
Presidente

*Clayton Campanhola*  
Vice-Presidente

*Alexandre Kalil Pires*  
*Dietrich Gerhard Quast*  
*Sérgio Fausto*  
*Urbano Campos Ribeiral*  
Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

*Clayton Campanhola*  
Diretor-Presidente

*Gustavo Kauark Chianca*  
*Herbert Cavalcante de Lima*  
*Mariza Marilena T. Luz Barbosa*  
Diretores-Executivos

Embrapa Informática Agropecuária

*José Gilberto Jardine*  
Chefe-Geral

*Tércia Zavaglia Torres*  
Chefe-Adjunto de Administração

*Sônia Ternes*  
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

*Álvaro Seixas Neto*  
Supervisor da Área de Comunicação e Negócios



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Informática Agropecuária  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

*ISSN 1677-9266  
Dezembro, 2003*

# *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 10*

## Teste Baseado em Casos de Uso

Marcos Lordello Chaim  
Adriana Carniello  
Mario Jino

Campinas, SP  
2003

Embrapa Informática Agropecuária  
Área de Comunicação e Negócios (ACN)  
Av. André Tosello, 209  
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo  
Caixa Postal 6041  
13083-970 Campinas, SP  
Telefone (19) 3789-5743 Fax (19) 3289-9594  
URL: <http://www.cnptia.embrapa.br>  
e-mail: [sac@cnptia.embrapa.br](mailto:sac@cnptia.embrapa.br)

Comitê de Publicações

*Carla Geovana Nascimento Macário*  
*José Ruy Porto de Carvalho*  
*Luciana Alvim Santos Romani (Presidente)*  
*Marcia Izabel Fugisawa Souza*  
*Marcos Lordello Chaim*  
*Suzilei Almeida Carneiro*

Suplentes

*Carlos Alberto Alves Meira*  
*Eduardo Delgado Assad*  
*Maria Angélica de Andrade Leite*  
*Maria Fernanda Moura*  
*Maria Goretti Gurgel Praxedis*

Supervisor editorial: *Ivanilde Dispatto*  
Normalização bibliográfica: *Marcia Izabel Fugisawa Souza*  
Editoração eletrônica: *Área de Comunicação e Negócios (ACN)*

1ª. edição on-line - 2003  
Todos os direitos reservados.

---

Chaim, Marcos Lordello.

Teste baseado em casos de uso / Marcos Lordello Chaim, Adriana Carniello, Mario Jino. —  
Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2003.

40 p. : il. — (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Informática Agropecuária ; 10).

ISSN 1677-9266

1. Teste de software. 2. Teste estrutural. 3. Casos de uso. I. Jino, Mario. II. Carniello, Adriana..  
III. Título. IV. Série.

---

CDD - 005.14 (21<sup>st</sup> ed)

© Embrapa 2003

# Sumário

Resumo.....	5
Abstract.....	6
Introdução .....	7
Material e Métodos.....	9
Resultado e Discussão.....	26
Conclusões.....	32
Referências Bibliográficas.....	34
Apêndice.....	36
Apêndice A - Descrição Textual do Sistema de Controle da Telesp Celular.....	37



# Teste Baseado em Casos de Uso

---

*Marcos Lordello Chaim<sup>1</sup>*

*Adriana Carniello<sup>2</sup>*

*Mario Jino<sup>3</sup>*

## Resumo

Os casos de uso consistem em um meio de se capturar as funcionalidades de um sistema de forma centrada no usuário. Entender como um usuário interage com um sistema é um aspecto importante quando se tem como objetivo entregar um produto que atenda às suas necessidades. Considerando a crescente utilização dos casos de uso para a construção de uma solução voltada ao usuário e o fato de consistirem em uma fonte de informação valiosa para a atividade de teste, um novo conjunto de critérios de teste é proposto com o intuito de melhorar a qualidade dessa atividade. Esses novos critérios propostos requerem o exercício de elementos que fazem parte da estrutura dos casos de uso e diferem dos critérios baseados em especificação pelo fato de realizarem testes a partir da estrutura de uma especificação e não de sua semântica. Para apoiar a aplicação do conjunto de critérios proposto, uma ferramenta de cobertura de teste, denominada Use Case Tester - UCT, foi desenvolvida. Essa ferramenta permite avaliar a qualidade de um conjunto de casos de teste a partir da análise de cobertura dos requisitos de teste exercitados durante o teste. Um experimento realizado utilizando a ferramenta UCT indicou que os critérios propostos permitem tanto avaliar a qualidade de um conjunto de casos de teste como também detectar defeitos na especificação de um sistema, identificando possíveis incoerências semânticas.

Termos para indexação: teste estrutural, especificação de software, Unified Modeling Language, casos de uso.

---

<sup>1</sup> Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica, Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo — 13083-970 — Campinas, SP.

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Elétrica, Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais — INPE, Av. dos Astronautas, 1758 — 12227-010 — São José dos Campos, SP.

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Elétrica e Doutor em Ciências da Computação, Prof. da FEEC/Unicamp, Caixa Postal 6101 — 13083-970 — Campinas, SP.

# Use Cases Structural Testing

---

## Abstract

*Use cases are a means to capture the system functionalities from a user-centered perspective. Understanding how a user interacts with a system is important if the goal is to deliver a product that meets the user's needs. Considering the increasing usage of use cases to build a user-oriented solution and their value to the software testing as a precious source of information, a new set of testing criteria is presented with the aim of improving the software testing quality. This new set of testing criteria requires that each use case structural element be exercised at least once. These criteria differ from the specification-based testing criteria since they do not realize tests on the semantics of a specification but on its structure. In order to support the application of the new set of testing criteria, a testing coverage tool, called Use Case Tester - UCT, was developed. UCT evaluates the quality of a test data set by analyzing the coverage of required elements exercised during testing. An experiment developed using UCT showed that the new testing criteria are able to evaluate the quality of a test data set as well as to detect faults on a software specification (e.g., semantic inconsistencies).*

*Index terms: structural testing, software specification, Unified Modeling Language.*

## Introdução

A crescente necessidade de se aumentar a garantia de confiabilidade do produto de software faz do teste sistemático uma atividade essencial do processo de desenvolvimento de software. No entanto, é perceptível na atividade de teste a distância existente entre as técnicas de teste propostas na literatura e a aplicação destas técnicas (McGregor & Kare, 1996).

As técnicas propostas não são aplicadas principalmente porque o teste é visto apenas como uma atividade auxiliar no desenvolvimento de software e não como parte do processo. Com esta visão, os esforços gastos nesta atividade são considerados extras. Os resultados da não aplicação de técnicas de teste consistem em testes realizados aleatoriamente, com a conseqüente geração de casos de teste de modo não estruturado.

A geração de casos de teste de forma não planejada coloca em questão a qualidade do conjunto de casos de teste. Um conjunto de casos de teste tem como objetivo revelar a maior quantidade de erros e/ou defeitos existentes no sistema a ser testado. Para isso, a elaboração de tal conjunto deve ser realizada de forma a cobrir a maior abrangência de possibilidades ou condições existentes no sistema. Os critérios de teste propõem exatamente esse conjunto de condições que devem ser satisfeitas durante a atividade de teste para que o teste seja bem sucedido, ou seja, seja capaz de revelar a presença de erros e/ou defeitos.

Assim, um critério de teste pode ser usado tanto para selecionar dados de teste, objetivando obter dados de teste que revelem erros e/ou defeitos, como para avaliar a qualidade desses dados. Avaliar a qualidade de um conjunto de dados de teste consiste em verificar se esse conjunto satisfaz o critério de teste aplicado. Perante a satisfação de um critério, torna-se possível quantificar a atividade de teste e, com isso, estabelecer um momento de encerramento dessa atividade.

Considerando os benefícios da realização de testes de forma sistemática, esse trabalho propõe alguns critérios de teste a serem aplicados no teste de especificações de software. É importante ressaltar que dependendo da fonte de informação utilizada para especificar os requisitos de teste, um critério de teste pode ser classificado como sendo baseado em especificação ou baseado em programa (Abdurazik & Offutt, 2000).

Um critério baseado em especificação especifica os requisitos de teste em termos de características identificadas nas especificações de software, de forma que o conjunto de dados de teste satisfaz o critério se todas essas características tiverem sido inteiramente exercitadas. Nesse caso, as especificações são usadas para produzir dados de teste, assim como para produzir o programa.

Já um critério baseado em programa especifica requisitos de teste em termos do programa sob teste, de forma que um conjunto de dados de teste satisfaz o critério se esses requisitos tiverem sido inteiramente exercitados. As informações utilizadas para avaliar ou construir dados de teste são derivadas a partir da análise interna do programa. Os critérios desta técnica de teste, conhecidos como critérios de adequação e/ou critérios de seleção, definem elementos da estrutura do programa que devem ser exercitados pelo teste. Esses elementos selecionam determinados caminhos que visam cobrir o código ou a representação gráfica deste (Rapps & Weyuker, 1982; Abdurazik & Offutt, 2000).

Diferindo do teste estrutural baseado em programas, neste trabalho é proposto a realização de testes estruturais não a partir da estrutura de um código de sistema ou de sua representação gráfica, mas a partir da estrutura interna de uma especificação. O teste, portanto, passa a ser de mais alto nível, no qual os elementos a serem acionados consistem nos elementos estruturais de uma especificação de software.

O modelo de especificação de software utilizado neste trabalho consiste no diagrama de casos de uso da Unified Modeling Language - UML (Booch et al., 1999), um modelo de análise de requisitos funcionais responsável por guiar todo o processo de desenvolvimento de software. O teste baseado neste diagrama torna possível validar os requisitos de software já na primeira fase do desenvolvimento. A vantagem de se desenvolver dados de teste nessa fase consiste na possível identificação de erros, omissões, inconsistências e redundâncias em uma fase cujo custo da remoção de erros é bem menor do que nas fases posteriores do desenvolvimento (Ryser & Glinz, 1999). Isso permite com que a especificação seja melhorada antes do programa ser escrito. Além disso, dados de teste podem ser criados e posteriormente reutilizados para se testar tanto o projeto como a implementação do sistema especificado (Offutt & Abdurazik, 1999).

A abordagem de teste tendo como base o diagrama de casos de uso da UML não é nova. Heumann (2001) apresenta uma forma de derivação de casos de teste a partir de casos de uso que utiliza os diferentes cenários representados por um caso de uso para identificar casos de teste. Um cenário consiste em um caminho de execução dentro do fluxo de ações de um caso de uso. Beckman & Gupta (2002) também consideram o teste funcional como um tipo de teste importante, centralizando também a geração de casos de teste a partir dos cenários do sistema. No entanto, enfatizam a relevância de outros tipos de teste, como o de compatibilidade, conformidade e usabilidade. Assim, em ambos os trabalhos busca-se validar os requisitos de software por meio das funcionalidades especificadas no diagrama de casos de uso.

A abordagem proposta neste trabalho consiste na aplicação da técnica de teste estrutural, técnica complementar à técnica de teste funcional adotada por Heumann (2001) e Beckman & Gupta (2002). O motivo para aplicação da técnica

de teste estrutural deve-se ao fato de as técnicas de teste de software não serem suficientes para garantir a qualidade da atividade de teste quando aplicadas isoladamente. Elas devem ser aplicadas em conjunto para se tentar assegurar um teste de qualidade (Maldonado, 1991). Assim, considerando as técnicas de teste como complementares, os critérios estruturais propostos nesse trabalho podem ser usados em conjunto com a abordagem funcional existente para derivação de dados de teste a partir de casos de uso. Com a aplicação desses critérios estruturais pretende-se derivar dados de teste de maior qualidade, ou seja, que apresentem maior probabilidade de revelar a presença de defeitos.

Este boletim de pesquisa está estruturado da seguinte forma. Em Material e Métodos são apresentados: os elementos básicos de um diagrama de casos de uso com o detalhamento da sua estrutura; uma visão geral sobre o teste baseado em casos de uso, destacando-se os trabalhos mais importantes dessa área; e os critérios para teste da estrutura de casos de uso propostos neste trabalho. Em Resultados e Discussão são descritos: a ferramenta de cobertura de teste Use Case Tester - UCT, desenvolvida para validar a aplicação dos critérios propostos; e o estudo de caso de aplicação dos novos critérios utilizando a ferramenta UCT. As considerações finais são apresentadas em Conclusões.

## Material e Métodos

O diagrama de casos de uso no contexto da linguagem The Unified Modeling Language - UML (Booch et al., 1999) consiste em um diagrama utilizado para modelar os aspectos dinâmicos de um sistema. Os diagramas de casos de uso modelam o comportamento de um sistema por meio de atores e casos de uso e dos relacionamentos entre eles.

Originário da metodologia Object-Oriented Software Engineering - OOSE, proposta por Jacobson et al. (1992), um caso de uso consiste em uma interação típica entre um usuário e um sistema. É um modo específico de utilização que define processos genéricos que o sistema deve ser capaz de manipular, estabelecendo assim um conjunto de funcionalidades inter-relacionadas do sistema (Booch et al. 1999).

Existem três elementos básicos que constituem um diagrama de casos de uso: os *casos de uso*, os *atores* e as *interações* que ocorrem com os casos de uso. Esses três elementos são descritos a seguir e podem ser visualizados na Fig. 1.

Um ator representa um papel desempenhado por um usuário ou sistema externo em relação ao sistema modelado. Assim, um ator é um agente que interage com o sistema, o qual pode ser um ser humano, um dispositivo ou um outro sistema.

O ícone padrão para a representação de atores nos diagramas de casos de uso

consiste em um *stick man* com o nome do ator abaixo da figura. Essa representação pode ser visualizada na Fig. 1.

Os casos de uso são representados por elipses que contêm o nome (título) do caso de uso, sendo que esse título pode ser posicionado no interior ou, opcionalmente, abaixo de cada elipse.

Na modelagem utilizando casos de uso, o sistema modelado é visto como uma caixa preta que fornece situações de aplicação. O objetivo principal de um caso de uso consiste em definir o comportamento de um sistema ou parte dele sem revelar a sua estrutura interna. Outros objetivos consistem em descrever os requisitos funcionais do sistema de maneira consensual entre usuários e desenvolvedores, fornecer uma descrição consistente e clara sobre as responsabilidades que este deve cumprir, servir de base para a fase de projeto e oferecer as possíveis situações do mundo real para o teste do sistema (Object Management Group, 2003b).

Assim, cada caso de uso especifica um serviço que um sistema oferece aos seus usuários, ou seja, um modo específico de se usar o sistema. Esse serviço, que é iniciado por um usuário, consiste em uma seqüência completa de ações. Isso significa que depois da execução dessa seqüência, o sistema geralmente se encontrará em um estado no qual a seqüência poderá ser reinicializada. Um caso de uso também pode incluir possíveis variantes dessa seqüência, como seqüências alternativas, comportamento excepcional, etc. O conjunto completo de casos de uso especifica todos os diferentes modos de usar um sistema, o que significa que todo o seu comportamento é expresso pelos seus casos de uso.

Em resumo, um caso de uso pode ser descrito como uma seqüência de ações que um sistema pode executar a fim de produzir um resultado observável de valor aos seus atores (Booch et al., 1999). Assim, todo caso de uso deve estar relacionado a um ator, para o qual o caso de uso produz algo de valor, como o cálculo de um resultado, a geração de um novo objeto ou mesmo uma mudança de estado de um objeto já existente. Em um sistema bancário, por exemplo, um caso de uso pode representar o requisito funcional "processar empréstimos". A seqüência de ações descritas por este caso de uso produz um resultado a um dos atores do sistema, o cliente do banco. Esse resultado consiste na concessão de um empréstimo, expresso através da entrega da quantidade requerida de dinheiro ao cliente do banco.

Podem existir associações entre os casos de uso e os seus atores. Tal associação estabelece uma *comunicação* entre uma instância de um caso de uso e um usuário que desempenha o papel de um dos atores. Os casos de uso também podem se relacionar com outros casos de uso através dos relacionamentos de *inclusão*, *extensão* e de *generalização*.

Assim, as interações que ocorrem com os casos de uso podem ser classificadas em dois tipos: as interações que ocorrem entre casos de uso; e as que ocorrem entre atores e casos de uso. Um caso de uso pode ser iniciado através desses dois tipos de interação, ou seja, quando a sua funcionalidade ou parte desta for invocada por um outro caso de uso ou quando um ator lhe enviar uma mensagem ou estímulo.

A seguir, encontram-se especificados os quatro tipos de interações possíveis dentro de um diagrama de casos de uso:

*Relacionamento de Comunicação* - interação representada por uma linha reta que simboliza a comunicação entre um ator e um caso de uso. Essa interação indica, para cada caso de uso, quais os atores que interagem com este.

*Relacionamento de Generalização* - interação representada por uma linha cheia direcionada com uma seta aberta. Trata-se de um relacionamento de um caso de uso para outro semelhante ao relacionamento de generalização existente entre classes. Um relacionamento de generalização de um caso de uso *A* para um caso de uso *B* indica que o caso de uso *A*, chamado de caso de uso filho, herda o comportamento e o significado do caso de uso *B*, chamado de caso de uso pai. O caso de uso filho deve acrescentar ou sobrescrever o comportamento do caso de uso pai e ambos podem ter instâncias concretas.

*Relacionamento de Inclusão* - interação representada por uma seta de dependência<sup>4</sup> rotulada com o estereótipo<sup>5</sup> <<include>>. Trata-se de um relacionamento que é utilizado quando um número de casos de uso apresentam um comportamento em comum e deseja-se modelar esse comportamento em um único caso de uso, que será reutilizado pelos demais. Uma interação de *inclusão* de um caso de uso *A* para um caso de uso *B* indica que o caso de uso *A* inclui o comportamento especificado por *B*.

O relacionamento de inclusão geralmente apresenta uma conotação estática. A menos que o relacionamento de inclusão esteja localizado dentro de uma seqüência alternativa do caso de uso base (caso de uso que inclui), o caso de uso incluído é sempre acionado. O comportamento do caso de uso incluído é um dos elementos que constitui o comportamento do caso de uso base (Object Management Group, 2003b).

*Relacionamento de Extensão* - interação representada por uma seta de

---

<sup>4</sup> Seta de dependência - relacionamento semântico entre dois casos de uso no qual uma alteração em um dos casos de uso afeta a semântica do outro.

<sup>5</sup> Estereótipo - palavra que representa uma extensão do meta-modelo da UML a fim de permitir que os usuários estendam a capacidade de modelagem da linguagem. Os estereótipos <<include>> e <<extend>> são estereótipos de semântica pré-definida na UML.

dependência rotulada com o estereótipo <<extend>>. Trata-se de um relacionamento de um caso de uso para outro que especifica como o comportamento definido para o primeiro caso de uso pode ser inserido no comportamento definido para o segundo. Uma interação <<extend>> de um caso de uso A para um caso de uso B indica que o caso de uso B *pode* incluir o comportamento especificado por A (Booch et al., 1999).

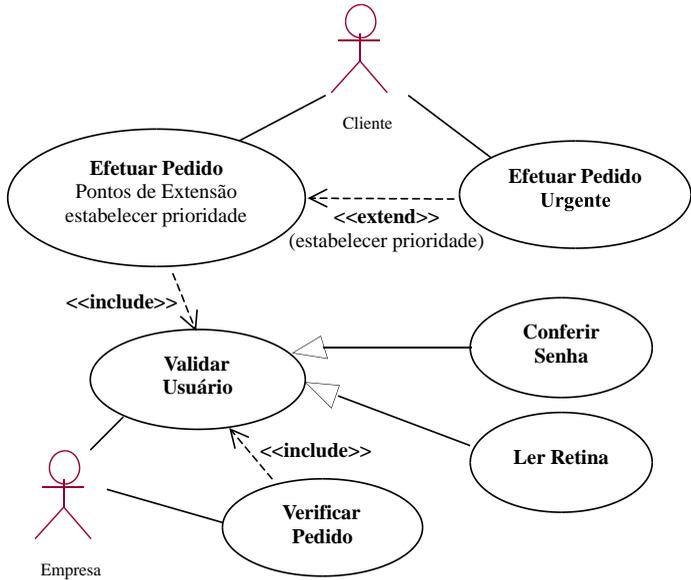


Fig. 1. Diagrama de Casos de Uso Exemplo.  
 Fonte: Booch et al. (1999).

Como cada caso de uso consiste em um conjunto de funcionalidades inter-relacionadas de um sistema, é possível extrair um conjunto de cenários que mostra todas as possíveis formas de realização do caso de uso. Os cenários oferecem as seqüências típicas de utilização de um caso de uso, com o objetivo de determinar suas ações, entradas e saídas. Assim, uma vez determinado o conjunto de cenários, está se determinando todos os possíveis caminhos dentro do fluxo de ações do caso de uso.

A seguir, o caso de uso Efetuar Pedido da Fig. 1 é apresentado, utilizando-se o formato de especificação de casos de uso proposto por Cockburn (2001), com o objetivo de exemplificar a definição de cenários, bem como as definições dos relacionamentos de inclusão e de extensão.

< Efetuar Pedido >

1. Descrição: O cliente efetua pedidos para a geração ou reposição de seu

estoque. Caso o pedido atual tenha prioridade de processamento, a extensão *estabelecer prioridade* interrompe o processamento de pedidos anteriores e insere o pedido atual como o primeiro elemento da fila de pedidos a serem processados

## 2. Fluxo de Ações Básico (cenário *Pedido Efetuado*)

- inclui (Validar Usuário)
- obter os itens do pedido do usuário
- extension point (estabelecer prioridade)
- processar o pedido

### Fluxos de Ações Alternativos

- Fluxo Alternativo 1 (cenário *Usuário Não Identificado*)
- Fluxo Alternativo 2 (cenário *Itens do Pedido Incompletos*)
- Fluxo Alternativo 3 (cenário *Pedido com Prioridade de Processamento*)
- Fluxo Alternativo 4 (cenário *Desistência de Processar o Pedido*)

A necessidade de derivar testes a partir dos casos de uso é evidente, pois o modelo de casos de uso é usado para modelar todos os demais aspectos de um sistema. Nesse sentido, Heumann (2001) propõe associar um ou mais casos de teste a cada cenário de utilização de um caso de uso. Um caso de teste, neste contexto, consiste em um conjunto de dados de entrada e os resultados esperados da simulação do comportamento de um caso de uso para esses dados.

O resultado esperado é formulado para satisfazer um determinado objetivo, como o de exercitar um determinado caminho do fluxo de ações de um caso de uso. Considerando esse objetivo, um dado de teste deve incluir algum valor responsável por selecionar um fluxo específico de execução dentro do caso de uso.

Em resumo, na abordagem de Heumann existe um ou mais casos de teste para cada cenário. A derivação de mais de um caso de teste deve-se à possibilidade de se testar condições limites.

Um teste abrangente deve incluir não somente casos de teste positivos e condições limites, mas também casos de teste negativos. Assim, segundo Beckman & Gupta (2002), o cenário de um caso de uso que apresenta o seu comportamento padrão equivale ao teste positivo, enquanto os cenários que apresentam as variações de comportamento do caso de uso representam o teste negativo.

Note-se, entretanto, que a técnica descrita acima leva em consideração apenas aspectos funcionais dos casos de uso. No entanto, o analista/testador pode desejar testar não somente as funcionalidades do sistema, mas também complementar o teste funcional derivando conjuntos de dados de teste a partir da

estrutura definida pelos casos de uso e seus relacionamentos, isto é, a partir do diagrama de casos de uso.

A aplicação da técnica de teste estrutural no diagrama de casos de uso possibilita que dados de teste sejam gerados com o objetivo de fazer com que certos elementos sejam exercitados. Esses elementos podem ser, por exemplo, as *inclusões* e/ou *extensões* que um dado caso de uso realiza com outros casos de uso do diagrama.

Assim, foram definidos critérios de teste estruturais que requerem o exercício de determinados requisitos derivados a partir do diagrama de casos de uso. Esses critérios estabelecem *o que* testar em um diagrama de casos de uso e quando *dar por concluído* o teste, uma vez que os critérios estruturais são capazes de quantificar a atividade de teste.

É importante ressaltar que se tratam de critérios baseados em um modelo de especificação e, portanto, não levam em consideração a implementação do software, mas sim a estrutura de um modelo de especificação, nesse caso, o diagrama de casos de uso (Abdurazik Offutt, 2000).

Dessa forma, analisando-se a estrutura do diagrama de casos de uso, pode-se derivar dados de teste que exercitem todas as inclusões e extensões do diagrama pelo menos uma vez durante o teste dos requisitos de software. Essa é uma forma de se obter um nível de cobertura de teste para os elementos estruturais do diagrama de casos de uso.

Os elementos estruturais do diagrama de casos de uso foram descritos acima. Entre os elementos estruturais existentes, foram considerados três tipos de relacionamentos a serem exercitados: os relacionamentos de *comunicação*, existentes entre atores e casos de uso; e os relacionamentos de *inclusão* e de *extensão*, existentes entre pares de casos de uso.

A seguir, antes da apresentação dos novos critérios, são introduzidos os conceitos básicos para a definição dos critérios e as notações gráficas para representação dos requisitos de teste. Para cada critério, deve-se considerar um conjunto de dados de teste *T* aplicado a um diagrama de casos de uso *D*.

*Conceito 1 — Exercício de um caso de uso*

Um caso de uso *A* é dito *exercitado* quando um certo ator ou um outro caso de uso requisitar o comportamento de *A*, ou de apenas parte deste, e *A* produzir o(s) resultado(s) desse comportamento.

*Conceito 2 — Exercício de um relacionamento de comunicação*

Um relacionamento de comunicação é dito *exercitado* quando, para um ator e um caso de uso que participam do relacionamento, o ator requisitar

o comportamento do caso de uso.

*Conceito 3 — Exercício de um relacionamento de inclusão ou extensão*

Um relacionamento de inclusão (extensão) é dito *exercitado* quando, para dois casos de uso *A* e *B* que participam do relacionamento, o caso de uso *A* incluir (estender) o comportamento do caso de uso *B*.

*Conceito 4 — Caso de uso incluído*

Um caso de uso *A* é dito *incluído* quando um caso de uso *B* incluir o comportamento de *A* por meio de um relacionamento de inclusão.

*Conceito 5 — Caso de uso inclusor*

Um caso de uso *B* é dito *inclusor* quando *B* incluir o comportamento de um caso de uso *A*, por meio de um relacionamento de inclusão.

*Conceito 6 — Caso de uso estendido*

Um caso de uso *A* é dito *estendido* quando um caso de uso *B* estender o comportamento de *A* por meio de um relacionamento de extensão.

*Conceito 7 — Caso de uso extensor*

Um caso de uso *B* é dito *extensor* quando *B* estender o comportamento de um caso de uso *A* por meio de um relacionamento de extensão.

As notações gráficas apresentadas a seguir foram definidas para representar graficamente os relacionamentos de um diagrama de casos de uso como requisitos de teste. É importante ressaltar que essas notações não pertencem à norma UML e também não constituem uma extensão a essa norma.

*Notação referente ao Relacionamento de Comunicação*

O relacionamento de comunicação é representado graficamente por meio de uma linha reta entre um ator e um caso de uso (Object Management Group, 2003a). Quando um relacionamento de comunicação consistir em um requisito de teste de um determinado critério, a reta que representa este relacionamento deve estar realçada. Esse requisito de teste consiste em exigir que um caso de uso seja exercitado por meio do ator ligado à reta realçada. A Fig. 2 apresenta a notação referente ao relacionamento de comunicação.

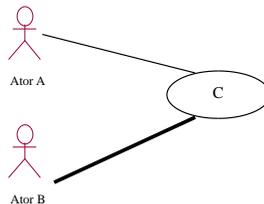


Fig. 2. Notação referente ao relacionamento de comunicação.

### *Notação referente ao Relacionamento de Inclusão*

O relacionamento de inclusão é representado graficamente por meio de uma seta entre dois casos de uso rotulada com o estereótipo `<<include>>` (Object Management Group, 2003a). Quando um relacionamento de inclusão consistir em um requisito de teste de um determinado critério, a seta que representa este relacionamento deve estar realçada. Esse requisito de teste consiste em exigir que para dois casos de uso ligados por uma seta realçada, um caso de uso inclua o comportamento do outro por meio do relacionamento realçado. A Fig. 3 apresenta a notação referente ao relacionamento de inclusão.

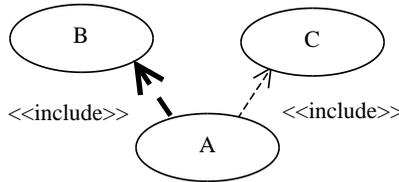


Fig. 3. Notação referente ao relacionamento de inclusão.

### *Notação referente ao Relacionamento de Extensão*

O relacionamento de extensão é representado graficamente por meio de uma seta entre dois casos de uso rotulada com o estereótipo `<<extend>>` (Object Management Group, 2003a). Quando um relacionamento de extensão consistir em um requisito de teste de um determinado critério, a seta que representa este relacionamento deve estar realçada. Esse requisito de teste consiste em exigir que para dois casos de uso ligados por uma seta realçada, um caso de uso estenda o comportamento do outro por meio do relacionamento realçado. A Fig. 4 apresenta a notação referente ao relacionamento de extensão

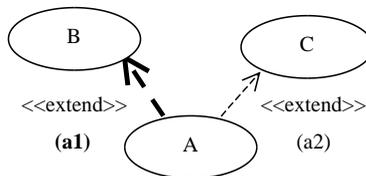


Fig. 4. Notação referente ao relacionamento de extensão.

### *Crítérios de Teste Baseados na Estrutura dos Casos de Uso*

A seguir são introduzidos critérios de teste cujos requisitos de teste são derivados a partir dos relacionamentos que definem a estrutura dos casos de uso, a saber, relacionamentos de comunicação, inclusão e extensão.

Para exemplificar os requisitos de teste exigidos pelos critérios é utilizado o diagrama de casos de uso (Fig. 5) derivado a partir da descrição textual do sistema de controle do celular pré-pago Baby, da Telesp Celular (2000) por profissionais da Embrapa Informática Agropecuária (Chaim et al., 2002). Essa descrição textual encontra-se disponível no Apêndice A.

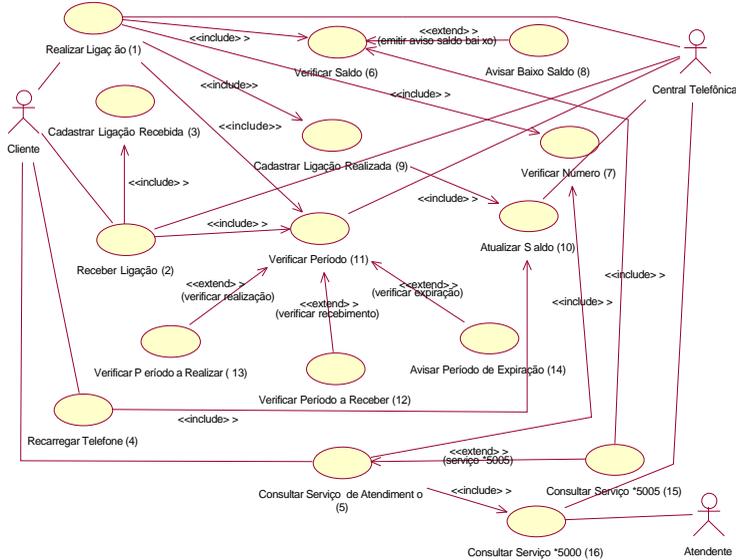


Fig. 5. Diagrama de casos de uso do sistema de controle do celular Baby da Telesp.

**Definição 1 — Critério todas-as-comunicações (c1)**

Um conjunto de dados de teste *T* satisfaz o critério *todas-as-comunicações* se cada relacionamento de comunicação que inicia um caso de uso de  $\mathcal{D}$  tiver sido exercitado pelo menos uma vez.

Um relacionamento de comunicação pode indicar que um ator inicia um caso de uso ou simplesmente interage com este. O Guia de Notação da UML (Object Management Group, 2003a) não apresenta notações gráficas distintas para tratar essas duas situações. Assim, analisando-se somente o diagrama não é possível identificar se um relacionamento de comunicação inicia um caso de uso ou apenas participa deste.

A semântica de um relacionamento de comunicação é obtida na especificação textual de cada caso de uso que participa do relacionamento. Portanto, para se aplicar o critério *todas-as-comunicações* é necessário consultar as especificações textuais dos casos de uso que mantêm relacionamentos de comunicação com mais de um ator a fim de definir qual ator inicia a execução do caso de uso.

A Fig. 6 apresenta um diagrama de casos de uso geral, acrescido da notação gráfica definida, que permite ilustrar os requisitos de teste definidos pelo critério *todas-as-comunicações* para esse diagrama. A aplicação desse critério é importante em relação aos demais critérios a serem apresentados para assegurar que os casos de uso que não apresentam nenhum relacionamento de inclusão ou de extensão com outros casos de uso, como o caso de uso *C* da Fig. 6, sejam exercitados durante a atividade de teste.

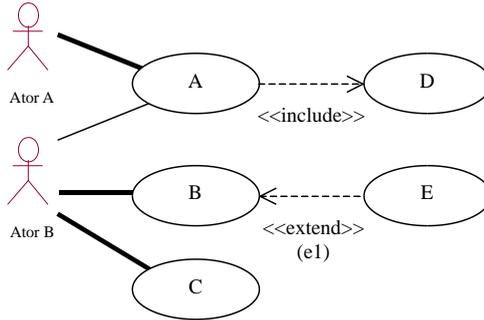


Fig. 6. Representação gráfica dos requisitos de teste definidos pelo critério *todas-as-comunicações*.

A Tabela 1 apresenta os resultados da aplicação do critério *todas-as-comunicações* (c1) no diagrama de casos de uso do sistema da Telesp Celular. Essa tabela indica os casos de uso de um diagrama que devem ser exercitados por meio dos relacionamentos de comunicação existentes.

Tabela 1. Requisitos de teste gerados pela aplicação do critério c1.

Requisitos de Teste	
Exercício dos casos de uso	Relacionamentos de comunicação
1	Cliente-caso de uso 1
4	Cliente-caso de uso 4
5	Cliente-caso de uso 5
2	Central-caso de uso 2
11	Central-caso de uso 11

A primeira linha da Tabela 1, por exemplo, indica que o caso de uso 1 deve ser exercitado por meio do relacionamento de comunicação *Cliente-caso de uso 1*. Em outras palavras, o ator *Cliente* deve requisitar a execução do caso de uso 1.

O critério seguinte tem como base o relacionamento de inclusão. Ele visa assegurar que, quando um caso de uso inclui o comportamento de um outro caso de uso em dois ou mais pontos distintos do seu fluxo de ações, todos os relacionamentos de inclusão sejam exercitados.

**Definição 2 - Critério todas-as-inclusões (c2)**

Um conjunto de dados de teste  $T$  satisfaz o critério *todas-as-inclusões* se cada relacionamento de inclusão entre dois casos de uso de  $\mathcal{D}$  tiver sido exercitado pelo menos uma vez.

A Fig. 7 ilustra a aplicação do critério *todas-as-inclusões*, apresentando os requisitos de teste definidos por esse critério para diagramas de casos de uso genéricos. Em ambos os diagramas deve-se considerar que todos os relacionamentos são relacionamentos de *inclusão*. As setas duplas indicam que o caso de uso A, por exemplo, inclui o comportamento do caso de uso B em dois pontos distintos do seu fluxo de ações.

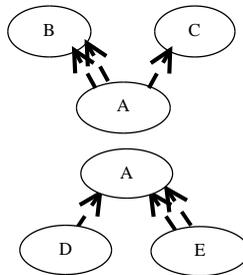


Fig. 7. Representação gráfica dos requisitos de teste definidos pelo critério *todas-as-inclusões* para diagramas de casos de uso genéricos.

A Tabela 2 apresenta os resultados da aplicação do critério *todas-as-inclusões* (c2) no diagrama de casos de uso do sistema da Telesp Celular, apresentado na Fig. 5. Essa tabela indica todos os relacionamentos de inclusão que devem ser exercitados durante o teste.

Tabela 2. Requisitos de teste gerados pela aplicação do critério c2.

<i>Requisitos de Teste</i>	
Exercício dos relacionamentos de inclusão	
	1-6
	1-7
	1-9
	1-11
	2-3
	2-11
	4-10
	5-7
	5-16
	9-10
	15-6

O próximo critério visa assegurar que, quando um caso de uso for estendido por um outro caso de uso através de mais de um relacionamento de extensão, todos os relacionamentos de extensão sejam acionados.

*Definição 3 - Critério Todas-as-extensões (c3)*

*T* satisfaz o critério *Todas-as-extensões* se todo relacionamento de extensão entre dois casos de uso tiver sido acionado pelo menos uma vez.

A Tabela 3 apresenta os resultados da aplicação do critério *todas-as-extensões* (c3) no diagrama de casos de uso do sistema da Telesp Celular. Essa tabela indica todos os relacionamentos de extensão que devem ser exercitados durante o teste.

Tabela 3. Requisitos de teste gerados pelo critério c3.

<i>Requisitos de Teste</i>	
Exercício dos relacionamentos de extensão	
	8-6
	12-11
	13-11
	14-11
	15-5

*Critérios de Teste Baseados na Combinação dos Relacionamentos de Extensão*

O relacionamento de extensão possui a característica de estar associado a uma condição, isto é, o relacionamento pode ou não ocorrer dependendo da validade ou não da condição associada. Baseado nesse fato, os critérios baseados em combinações de extensões não requerem que os relacionamentos de extensão sejam somente exercitados, mas requerem que estes também sejam não-exercitados. Isso permite que os requisitos de teste derivem dados de teste capazes de fazer com que a condição de um relacionamento de extensão seja satisfeita e não satisfeita, ou seja, o relacionamento de extensão seja exercitado e não exercitado.

Para a apresentação desses critérios, faz-se necessária a definição de alguns *parâmetros* e a adoção de uma nova *notação gráfica* para representar o *não-exercício* de um relacionamento de extensão como requisito de teste. A seguir, são apresentados os parâmetros e a nova notação gráfica adotada.

Parâmetro *m* — representa a *quantidade de extensões* que têm como destino o caso de uso em análise e origem um *único* outro caso de uso.

Tendo como referência o caso de uso A do diagrama da Fig. 8:

- m = 1, para o par de casos de uso D e A;
- m = 2, para o par de casos de uso E e A.

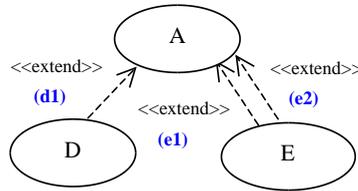


Fig. 8. Diagrama de casos de uso genérico 1.

Parâmetro p — representa a *quantidade de extensões* que têm como *destino* o caso de uso em análise.

Tendo como referência o caso de uso A do diagrama da Fig. 9: p = 3, ou seja, existem três extensões para A.

Parâmetro r — representa a *quantidade de extensões* que têm como *origem* o caso de uso em análise.

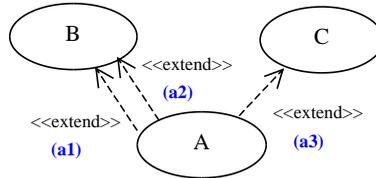


Fig. 9. Diagrama de casos de uso genérico 2.

Tendo como referência o caso de uso A do diagrama da Fig. 9: r = 3, ou seja, existem três extensões que partem de A estendendo um ou mais casos de uso.

Quando o requisito de teste de um determinado critério for o não-exercício de um relacionamento de extensão, a seta que representa esse relacionamento deve estar circulada. Esse requisito de teste consiste em exigir que para dois casos de uso ligados por uma seta circulada, um caso de uso *não* estenda o comportamento do outro por meio do relacionamento circulado. A Fig. 10 abaixo apresenta o não-exercício de um relacionamento de extensão como requisito de teste.

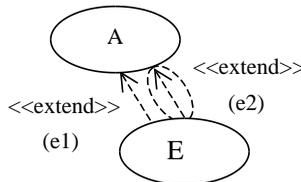


Fig. 10. Notação referente ao não-exercício de uma extensão.

A seguir, são apresentadas as definições dos critérios de teste baseados em combinações de extensões. Após a definição de cada critério, são apresentados um exemplo genérico e um exemplo de aplicação, que utiliza o diagrama de casos de uso da Telesp Celular (Fig. 5).

**Definição 4 - Critério todos-os-estendidos-pares (c4)**

Um conjunto de dados de teste  $T$  satisfaz o critério *todos-os-estendidos-pares* se, para cada caso de uso estendido de  $\mathcal{D}$  por  $m$  relacionamentos de extensão ( $m \geq 2$ ), todas as combinações de exercícios e não-exercícios dessas extensões tiverem sido exercitadas.

A Fig. 11 apresenta os requisitos de teste definidos por esse critério para o diagrama de casos de uso genérico, usando as notações gráficas definidas.

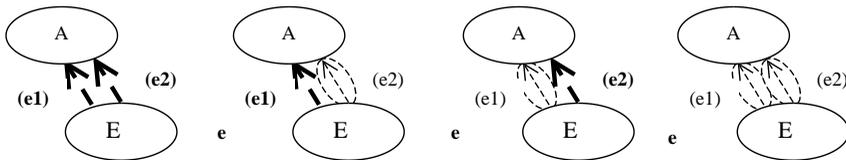


Fig. 11. Representação gráfica dos requisitos de teste definidos pelo critério *todos-os-estendidos-pares* para um diagrama de casos de uso genérico.

A aplicação desse critério tem como objetivo assegurar que sejam exercitadas todas as combinações dos exercícios e não-exercícios das extensões existentes entre dois casos de uso. Note-se que, para cada caso de uso estendido por um único outro caso de uso por meio de dois ou mais relacionamentos de extensão, esse critério define  $2^m$  combinações de exercícios e não-exercícios a serem exercitadas.

Não foi possível realizar um exemplo de aplicação do critério c4 no diagrama de casos de uso do sistema da Telesp Celular (Fig. 5), uma vez que esse diagrama não apresenta um caso de uso que seja estendido por outro caso de uso por meio de duas ou mais extensões.

**Definição 5 - Critério todos-os-estendidos-combinações (c5)**

Um conjunto de dados de teste  $T$  satisfaz o critério *todos-os-estendidos-combinações* se, para cada caso de uso estendido de  $\mathcal{D}$  por no mínimo dois casos de uso, todas as combinações de exercícios e não-exercícios de  $p$  extensões tiverem sido exercitadas.

A Fig. 12 ilustra a aplicação do critério *todos-os-estendidos-combinações*, apresentando os requisitos de teste definidos por esse critério para o diagrama de casos de uso genérico. Nesse diagrama deve-se considerar que todos os relacionamentos são relacionamentos de *extensão*.

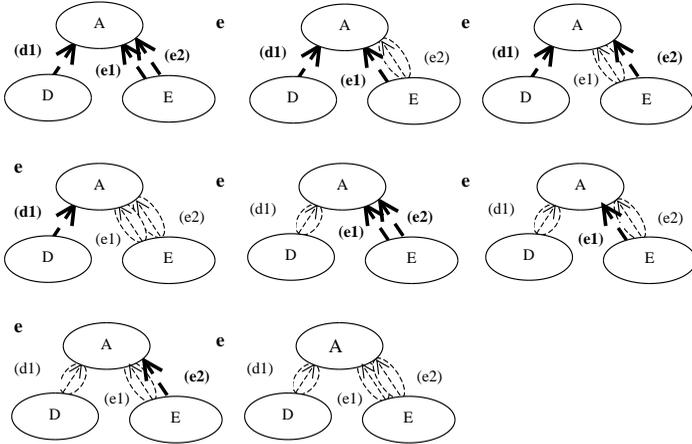


Fig. 12. Representação gráfica dos requisitos de teste definidos pelo critério *todos-os-estendidos-combinações* para um diagrama de casos de uso genérico.

A aplicação desse critério tem como objetivo assegurar que sejam exercitadas as combinações dos exercícios e não-exercícios de todas as extensões que estendem um caso de uso em análise. Note-se que, para cada caso de uso estendido por dois ou mais casos de uso, esse critério define  $2^p$  combinações de exercícios e não-exercícios a serem exercitadas.

A Tabela 4 apresenta os resultados da aplicação do critério *todos-os-estendidos-combinações* (c5) no diagrama de casos de uso do sistema da Telesp Celular (Fig. 5). Essa tabela indica, para cada caso de uso estendido, os relacionamentos de extensão que o estendem e as combinações dos exercícios (E) e não-exercícios (NE) desses relacionamentos.

Tabela 4. Requisitos de teste gerados pelo critério c5.

		Requisitos de Teste		$2^p$ combinações		
Casos de uso estendidos	Casos de uso extensores	Relacionamentos de extensão	p			
11	12 e	12-11 e	3	12-11e	13-11e	14-11e
	13 e	13-11 e		E	E	E
	14	14-11 e		E	NE	NE
				E	NE	NE
				NE	E	E
				NE	E	NE
				NE	NE	E
				NE	NE	NE

A Tabela 4 indica que o caso de uso estendido 11 é estendido pelos casos de uso 12, 13 e 14 por meio dos relacionamentos de extensão 12-11, 13-11 e 14-11, respectivamente ( $p = 3$ ). O critério c5 define como requisitos de teste todas as possíveis combinações de exercícios e não-exercícios desses relacionamentos, totalizando  $2^p$  combinações a serem exercitadas. Nas colunas que apresentam as combinações, um "E" indica que o relacionamento de extensão deve ser exercitado, enquanto um "NE" indica que o relacionamento não deve ser exercitado.

**Definição 6 - Critério todos-os-extensores-combinações (c6)**  
 Um conjunto de dados de teste  $T$  satisfaz o critério *todos-os-extensores-combinações* se, para cada caso de uso de  $\mathcal{D}$  que estende no mínimo dois casos de uso, todas as combinações de exercícios e não-exercícios de  $r$  extensões tiverem sido exercitadas.

A Fig. 13 apresenta os requisitos de teste definidos por esse critério para um diagrama de casos de uso genérico. No diagrama deve-se considerar que todos os relacionamentos são relacionamentos de *extensão*.

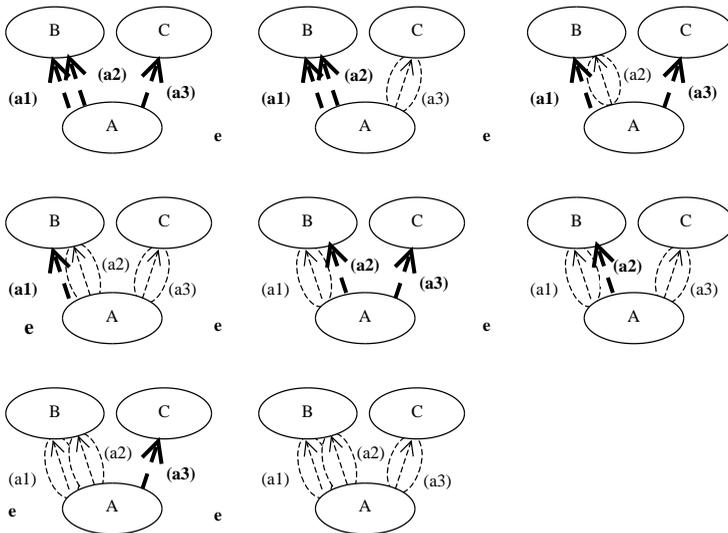


Fig. 13. Representação gráfica dos requisitos de teste definidos pelo critério todos-os-extensores-combinações para um diagrama de casos de uso genérico.

A aplicação desse critério tem como objetivo assegurar que sejam exercitadas as combinações dos exercícios e não-exercícios de todas as extensões de um caso de uso em análise que estendem outros casos de uso. Note-se que, para cada caso de uso que estende dois ou mais casos de uso, esse critério define  $2^r$  combinações

de exercícios e não-exercícios a serem exercitadas.

Não foi possível realizar um exemplo de aplicação do critério c6 no diagrama de casos de uso do sistema da Telesp Celular (Fig. 5), uma vez que esse diagrama não apresenta um caso de uso que estenda dois ou mais casos de uso.

Os critérios *todos-os-estendidos-pares* (c4), *todos-os-estendidos-combinações* (c5) e *todos-os-extensores-combinações* (c6), que formam o grupo de Critérios de Teste Baseados em Combinações de Extensões, apresentam particularidades que fazem com que sejam aplicados conforme os relacionamentos de extensão existentes em um diagrama de casos de uso. A seguir, estão listadas as situações nas quais recomenda-se a aplicação de um desses critérios:

- Critério c4: aplicado quando o diagrama apresentar um caso de uso estendido por um único outro caso de uso por meio de mais de um relacionamento de extensão;
- Critério c5: aplicado quando o diagrama apresentar um caso de uso estendido por mais de um caso de uso;
- Critério c6: aplicado quando o diagrama apresentar um caso de uso que estenda mais de um caso de uso.

**Definição 7 - Critério todas-as-comunicações-inclusões-extensões (c7)**

Um conjunto de dados de teste *T* satisfaz o critério *todas-as-comunicações-inclusões-extensões* se cada relacionamento de comunicação, de inclusão e de extensão de *D* tiver sido exercitado pelo menos uma vez.

A Fig. 14 (b) apresenta os requisitos de teste definidos por esse critério para o diagrama de casos de uso genérico apresentado na Fig. 14 (a).

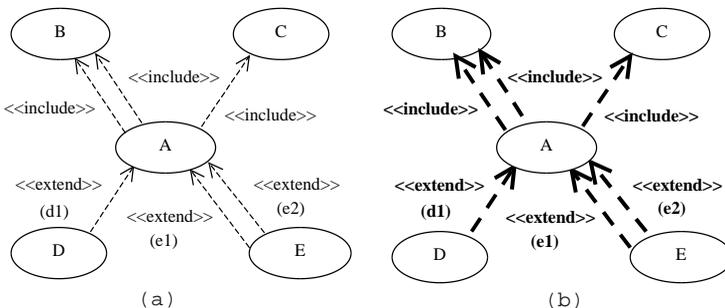


Fig.14. Representação gráfica dos requisitos de teste definidos pelo critério *todas-as-comunicações-inclusões-extensões*.

A aplicação desse critério tem como objetivo assegurar que todos os relacionamentos de comunicação, de inclusão e de extensão de um diagrama sejam exercitados durante o teste.

A Tabela 5 apresenta os resultados da aplicação do critério *todas-as-comunicações-inclusões-extensões* (c7) no diagrama de casos de uso do sistema da Telesp Celular (Fig. 5). Essa tabela indica todos os relacionamentos de comunicação, de inclusão e de extensão que devem ser exercitados durante o teste.

Tabela 5. Requisitos de teste gerados pelo critério c7.

<i>Requisitos de Teste</i>		
Exercício dos relacionamentos de comunicação	Exercício dos relacionamentos de inclusão	Exercício dos relacionamentos de extensão
Cliente-1	1-6	8-6
Cliente-4	1-7	12-11
Cliente-5	1-9	13-11
Central-2	1-11	14-11
Central-11	2-3	15-5
	2-11	
	4-10	
	5-7	
	5-16	
	9-10	
	15-6	

O critério *todas-as-comunicações-inclusões-extensões* (c7) é um critério que reúne três outros critérios definidos anteriormente: o critério *todas-as-comunicações* (c1), *todas-as-inclusões* (c2) e *todas-as-extensões* (c3). O agrupamento desses três critérios no critério c7 tem como objetivo fornecer ao testador um único critério que exija uma cobertura completa dos exercícios de todos os tipos de relacionamentos considerados no teste baseado em casos de uso.

## Resultados e Discussão

### *Ferramenta de Teste UCT*

Uma ferramenta de teste denominada UCT — *Use Case Tester* — foi desenvolvida com o objetivo de apoiar a aplicação de critérios de teste estruturais baseados em casos de uso. Esta ferramenta possui três funcionalidades: levantar os requisitos de teste dos critérios definidos; simular a execução de casos de teste a partir da

especificação de casos de uso; e realizar a análise de cobertura da simulação da execução dos casos de teste. A seguir são descritas as três funcionalidades da ferramenta UCT.

*Levantamento dos Requisitos de Teste*

A ferramenta UCT tem como entrada um arquivo texto que descreve os casos de uso de um sistema. É importante ressaltar que a geração desse arquivo deve ser baseada em uma estrutura de especificação de casos de uso adequada aos propósitos da ferramenta. Assim, apesar da existência de estruturas de especificação de casos de uso na literatura (Cockburn, 2001; Costain, 2004; Larman, 1997), um novo formato de especificação de casos de uso é proposto.

A proposta de um novo formato se deve à necessidade de uma especificação com um nível de detalhamento conciso, que inclua estritamente as informações necessárias ao entendimento da funcionalidade do caso de uso e à identificação dos requisitos de teste estruturais. A Fig. 15 apresenta esse novo formato de especificação de casos de uso proposto para os fins deste trabalho.

<b>Nro de Identificação do Caso de Uso</b>	1
<b>Caso de Uso</b>	Nome do caso de uso
<b>Atores</b>	Lista dos atores que interagem com o caso de uso. O ator que inicia a comunicação com o caso de uso é precedido pela palavra-chave <i>start</i>
<b>Propósito</b>	Intenção do caso de uso
<b>Descrição</b>	Descrição do caso de uso em alto nível
<b>Relacionamentos &lt;&lt;include&gt;&gt; de Origem</b>	Lista dos relacionamentos de inclusão que partem do caso de uso corrente, ou seja, uma lista dos casos de uso que são incluídos pelo caso de uso corrente. Formato da lista: 1-3, 1-3a, 1-11 (Dois relacionamentos entre os casos de uso 1 e 3, e um relacionamento entre os casos de uso 1 e 11)
<b>Relacionamentos &lt;&lt;include&gt;&gt; de Destino</b>	Lista dos relacionamentos de inclusão que apontam para o caso de uso corrente, ou seja, uma lista dos casos de uso que incluem o caso de uso corrente. Formato da lista: 10-1, 6-1 (Um relacionamento entre os casos de uso 10 e 1, e um relacionamento entre os casos de uso 6 e 1)
<b>Relacionamentos &lt;&lt;extend&gt;&gt; de Origem</b>	Lista dos relacionamentos de extensão que partem do caso de uso corrente, ou seja, uma lista dos casos de uso que são estendidos pelo caso de uso corrente. Formato da lista: 1-3, 1-3a, 1-11 (Dois relacionamentos entre os casos de uso 1 e 3, e um relacionamento entre os casos de uso 1 e 11)
<b>Relacionamentos &lt;&lt;extend&gt;&gt; de Destino</b>	Lista dos relacionamentos de extensão que apontam para o caso de uso corrente, ou seja, uma lista dos casos de uso que estendem o caso de uso corrente. Formato da lista: 10-1, 6-1 (Um relacionamento entre os casos de uso 10 e 1, e um relacionamento entre os casos de uso 6 e 1)
<b>Estados Iniciais</b>	Lista dos possíveis estados iniciais do caso de uso
<b>Fluxo de Ações</b>	Lista das ações do caso de uso

Fig. 15. Estrutura de Especificação de Casos de Uso Geral.

A partir da análise estática de uma especificação de casos de uso, a ferramenta UCT mapeia cada caso de uso em uma representação interna. Essas representações internas são inter-ligadas de forma a obter uma lista de casos de uso.

A representação interna de cada caso de uso é composta de duas outras listas: uma lista que contém as inclusões estabelecidas entre o caso de uso e os demais casos de uso do diagrama, e outra lista que contém as extensões. A fim de se levantar os requisitos de teste para os critérios estruturais escolhidos pelo usuário, essas listas são percorridas, analisando-se os aspectos intrínsecos a cada critério. Os requisitos de teste são então gerados e armazenados em arquivo e também em uma estrutura interna para serem usados posteriormente na atividade de avaliação do teste.

### *Simulação da Execução dos Casos de Teste*

A representação interna de cada caso de uso, além de conter as listas das inclusões e extensões que este estabelece, também contém um grafo que representa seu fluxo de ações. Esse grafo, gerado a partir da especificação do caso de uso, é usado para simular o seu comportamento.

A simulação do comportamento de um caso de uso consiste em, dado um conjunto de estados iniciais (dados de teste), percorrer o seu grafo de ações de forma a determinar a seqüência de acionamentos das inclusões e/ou extensões estabelecidas com outros casos de uso. Dessa forma, a simulação é um ponto chave da ferramenta UCT, uma vez que identifica os requisitos de teste exercitados para cada conjunto de dados de teste.

Um outro aspecto relevante da simulação está no fato de permitir verificar o comportamento de um caso de uso analisando-se a seqüência de ações simuladas. Esse aspecto confere confiança aos analistas em relação ao funcionamento do diagrama e maior credibilidade da parte do cliente. Além disso, a simulação, quando automatizada, permite que testes de regressão de versões anteriores do diagrama possam ser executados automaticamente. O teste de regressão visa assegurar que a adição de uma nova capacidade não danifica as versões anteriores do modelo.

### *Análise de Cobertura*

Uma vez gerada a seqüência das inclusões e/ou extensões acionadas durante a simulação, essa seqüência de acionamentos é comparada com os requisitos de teste dos critérios aplicados, gerando a cobertura desses requisitos durante o teste (simulação). Note-se que esses requisitos foram gerados anteriormente e encontram-se armazenados em estruturas internas à ferramenta.

### Estrutura da Ferramenta UCT

A ferramenta UCT é composta por quatro módulos. A Fig. 16 ilustra sua estrutura.

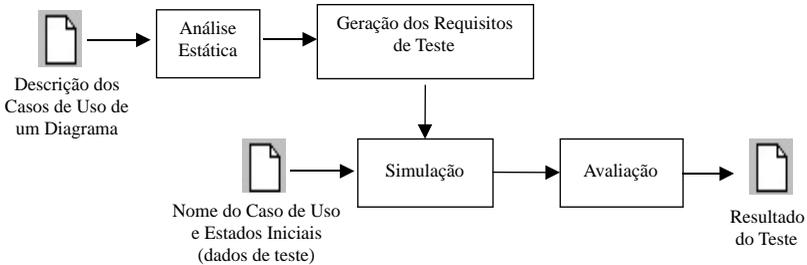


Fig. 16. Estrutura Geral da Ferramenta UCT.

**Módulo *Análise Estática*** - efetua uma análise léxica e sintática da descrição dos casos de uso de um diagrama, construindo sua representação interna.

**Módulo *Geração dos Requisitos de Teste*** - implementa a funcionalidade *Levantamento de Requisitos de Teste*, gerando os elementos requeridos para os critérios de teste estruturais escolhidos pelo usuário.

**Módulo *Simulação*** - implementa a funcionalidade *Simulação da Execução dos Casos de Teste*, monitorando o cenário executado durante a simulação do comportamento de um caso de uso. Essa monitoração permite identificar os acionamentos dos relacionamentos de inclusão e/ou extensão existentes entre o caso de uso que está sendo simulado e os demais casos de uso do diagrama.

**Módulo *Avaliação*** - implementa a funcionalidade *Análise de Cobertura*, verificando a satisfação dos critérios escolhidos pelo usuário por meio da comparação das inclusões e/ou extensões acionadas durante a simulação com os requisitos de teste de cada critério.

### Estudo de Caso

Um estudo de caso foi realizado aplicando-se o conjunto de critérios proposto, por meio da ferramenta UCT, no diagrama de casos de uso do sistema de controle da Telesp Celular apresentado na Fig. 5. Nesse estudo de caso, os critérios foram aplicados para avaliar um conjunto de casos de teste funcional, gerado a partir da abordagem de Heumann (2001) para o mesmo diagrama.

A abordagem de Heumann consiste em uma abordagem de derivação de casos de teste funcionais que, além de utilizar uma especificação de software como fonte de informação para o teste, analisa as características funcionais dessa especificação. Os critérios de teste propostos, apesar de terem como base uma

especificação de software, não consideram as características funcionais dessa especificação; consideram as características *estruturais*.

Essa particularidade permite que esses critérios avaliem os casos de teste funcionais gerados segundo a abordagem de Heumann sob uma visão distinta. Assim, o objetivo de se aplicar os critérios propostos para se avaliar a massa de teste puramente funcional gerada pela abordagem de Heumann é verificar se os critérios propostos evidenciam aspectos relevantes de teste não cobertos por essa massa de teste.

### *Descrição do Estudo de Caso*

O primeiro passo para a derivação de casos de teste segundo a abordagem de Heumann foi a identificação de um conjunto de cenários para cada caso de uso do diagrama da Telesp Celular (Fig. 5). Os cenários identificados para cada caso de uso desse diagrama foram nomeados e organizados em tabelas.

Identificado o conjunto de cenários para cada caso de uso do diagrama, o próximo passo consistiu em desenvolver um ou mais casos de teste para cada cenário. A derivação de casos de teste para um determinado cenário foi realizada identificando-se a condição específica que faz com que o cenário seja executado. Assim, ao final desse processo foi obtida uma massa de casos de teste funcionais para os casos de uso do sistema Telesp Celular. Os casos de teste foram então simulados e avaliados utilizando a ferramenta UCT para avaliar a sua adequação (cobertura) em relação aos critérios estruturais propostos.

### *Discussão dos Resultados do Estudo de Caso*

A massa de casos de teste funcional satisfaz os requisitos de teste dos critérios estruturais c1, c2, c3; a estrutura dos casos de uso do sistema Telesp Celular não leva a exigência de requisitos de teste para os critérios c4 e c6. Portanto, a massa de testes funcionais satisfaz todos os critérios estruturais, com exceção do critério c5 -- todos-os-estendidos-combinações. Em particular, para este critério a ferramenta UCT gerou os resultados apresentados a seguir.

#### RESULTADOS DA AVALIACAO DA SIMULACAO PARA O CRITERIO c5

--- Requisitos de teste exercitados durante a simulacao ---

##### Combinacoes dos Relacionamentos

12-11	13-11	14-11
E	NE	E
E	NE	NE
NE	E	E
NE	E	NE

----- Requisitos de teste nao exercitados durante a simulacao -----

Combinacoes dos Relacionamentos

12-11	13-11	14-11
E	E	E
E	E	NE
NE	NE	E
NE	NE	NE

-----

Analisando os resultados da avaliação, note-se que, entre os requisitos de teste *não exercitados* durante a simulação, encontram-se dois requisitos de teste considerados *não-exercitáveis*. Um requisito de teste é dito *não-exercitável* quando não é possível derivar casos de teste que façam com que esse requisito seja exercitado. Assim, para os requisitos

12-11	13-11	14-11,
E	E	E
E	E	NE

as condições das extensões 12-11 e 13-11 apresentam dados excludentes, ou seja, quando o dado pertencente à condição da extensão 12-11 for escolhido como válido, o dado da condição da extensão 13-11 não pode ser válido também, uma vez que um cliente não pode estar ao mesmo tempo realizando e recebendo ligações. Logo, o exercício de ambas as extensões 12-11 e 13-11 é um requisito de teste não-exercitável; portanto, impossíveis de serem testados.

Já os outros dois requisitos de teste não exercitados, 12-11 13-11 14-11,

NE	NE	E
NE	NE	NE

revelam ao testador a existência de dois cenários não executados pelos casos de teste funcionais projetados pela abordagem de Heumann.

O primeiro cenário consiste no exercício dos casos de uso 11 e 14 (casos de uso Verificar Período e Avisar Período de Expiração, respectivamente), sendo que os casos de uso 12 e 13 não devem ser exercitados. Esse cenário é executado quando a Central Telefônica, em toda mudança automática da data corrente do sistema, solicita uma consulta à validade do período do crédito do cliente com o objetivo de emitir-lhe um aviso, caso essa validade esteja expirando no prazo de três dias.

O segundo cenário não executado consiste no exercício do caso de uso 11 (caso de uso Verificar Período) sem que sejam exercitados os casos de uso 12, 13 e 14 (casos de uso Verificar Período a Receber, Verificar Período a Realizar e Avisar Período de Expiração, respectivamente), que estendem o caso de uso 11.

Analisando-se a especificação textual do caso de uso 11, percebe-se que não é possível exercitar esse requisito de teste devido a um engano cometido em sua especificação.

A forma como o caso de uso 11 foi especificado faz com que as extensões que ocorrem nesse caso de uso não representem comportamentos opcionais, mas façam parte do comportamento padrão do caso de uso. Na realidade, o comportamento padrão desse caso de uso foi especificado como sendo um conjunto de extensões, o que não respeita a característica de excepcionalidade do relacionamento de extensão da UML. De acordo com Booch et al. (1999), as extensões devem ser usadas para modelar casos de exceção, ou seja, casos opcionais que podem ocorrer a partir do comportamento padrão de um caso de uso. Esses casos de exceção ocorrem somente em certas situações, dadas pela condição do relacionamento.

Em resumo, os resultados da aplicação do critério *todos-os-estendidos-combinações* (c5) permitiram identificar: (1) um cenário não executado pelos casos de teste gerados pela abordagem de Heumann; e (2) uma incoerência semântica na especificação do diagrama de casos de uso da Telesp Celular.

## Conclusões

Esse trabalho introduziu um novo conjunto de critérios de teste para o teste baseado em casos de uso. Esse conjunto de critérios permite avaliar a qualidade de um conjunto de dados de teste gerado aleatoriamente ou gerado a partir da aplicação de outros critérios, além de servir como guia ao testador na geração de casos de teste. Os critérios de teste propostos são inovadores uma vez que aplicam a técnica de teste estrutural em casos de uso, o que permite definir os elementos da estrutura de um caso de uso a serem testados.

O valor da aplicação de critérios de teste estruturais está no fato de permitirem quantificar a atividade de teste, estabelecendo uma medida capaz de assegurar o quão completo os casos de uso foram testados. Além dessa vantagem, o teste estrutural apresenta o valor prático de ser totalmente automatizável (Abdurazik & Offutt, 2000). Assim, uma ferramenta de cobertura de teste foi desenvolvida com o objetivo de validar a aplicação do conjunto de critérios proposto. Essa ferramenta, denominada UCT, gera a cobertura da atividade de teste dos requisitos de um sistema, especificados por meio de casos de uso.

Este boletim apresentou também os resultados de um estudo de caso cujo objetivo era verificar se os critérios propostos evidenciam aspectos relevantes de teste não cobertos pelos testes funcionais. O estudo que consistiu na aplicação, por meio da ferramenta UCT, dos critérios propostos no diagrama de casos de uso do sistema da Telesp Celular (Fig. 5). Nesse estudo de caso, os critérios foram

aplicados para avaliar um conjunto de casos de teste puramente funcional, gerado a partir da abordagem de Heumann (2001) para o mesmo diagrama

Os testes com os critérios estruturais indicaram: (1) um cenário não executado pelos casos de teste gerados pela abordagem de Heumann; e (2) uma incoerência semântica na especificação do diagrama de casos de uso da Telesp Celular. Dessa maneira, os resultados do estudo de caso mostram que há deficiências do teste funcional que passam despercebidas se testes baseados na estrutura dos casos de uso não forem realizados. Portanto, eles confirmam a hipótese de que os testes estruturais dos casos de uso são complementares aos testes funcionais, confirmando resultados anteriores da literatura (Maldonado, 1991).

Vários trabalhos futuros podem ser realizados a partir dos resultados apresentados neste boletim. A seguir são descritos alguns deles:

1. Com relação à aplicação dos critérios propostos, são necessários mais experimentos que confirmem as observações obtidas do estudo de caso realizado.
2. A ferramenta UCT é uma ferramenta de cobertura de teste; por isso, não está voltada para a geração de casos de teste. No entanto, os critérios propostos também estabelecem diretrizes de como realizar essa geração. Assim, há também a necessidade de se conduzir experimentos que apliquem os critérios nesse sentido, mesmo sem o apoio da ferramenta UCT.
3. Um aspecto a ser trabalhado na ferramenta UCT é a sua interface. É necessário dotá-la de interface gráfica que permita uma visualização de informações mais intuitiva ao usuário, facilitando a sua interação tanto para a simulação do comportamento de casos de uso como para a avaliação de casos de teste.
4. Um outro aspecto consiste na incorporação das funções da ferramenta UCT em ferramentas CASE de apoio à modelagem UML disponíveis no mercado. As ferramentas Rational Rose (IBM Corporation, 2004) e Poseidon (Gentleware Ag, 2004) são exemplos dessas ferramentas CASE que podem incluir as funcionalidades da UCT. Em especial, a ferramenta Poseidon é uma boa candidata a essa inclusão, pois evoluiu do projeto de código aberto ArgoUML (Collabnet Inc., 2004) e apresenta uma versão base que pode ser obtida sem custos.
5. Por fim, os critérios propostos podem ser incluídos em uma estratégia de teste que integre técnicas de teste existentes para o teste baseado em especificações UML. Um exemplo de estratégia de teste à qual os critérios poderiam ser integrados é a abordagem de teste proposta por Colanzi (1999).

## Referências Bibliográficas

ABDURAZIK, A.; OFFUTT, J. Using UML collaboration diagrams for static checking and test generation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE UNIFIED MODELING LANGUAGE (UML 2000), 3., 2000, New York. Proceedings... York: University of York, 2000. p. 383-395.

BECKMAN, O.; GUPTA, B. Developing test cases from use cases for web applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRACTICAL SOFTWARE TESTING TECHNIQUES (PSTT 2002 SOUTH). Proceedings... New Orleans: Software Dimension, 2002.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. The unified modeling language user guide. Reading: Addison-Wesley, 1999. 482p. (Addison-Wesley Object Technology Series).

CHAIM, M. L.; FERREIRA, D.; FRANCESCHINI, L. Modelagem de requisitos usando casos de uso. [2002]. 64 transparências. Apresentação realizada no curso Modelagem de Requisitos Usando Casos de Uso, Campinas, 2002.

COCKBURN, A. Writing effective use cases. Boston: Addison-Wesley, 2001.

COLANZI, T. E. Uma abordagem integrada de desenvolvimento e teste de software baseada na UML. 1999. 143 f. Dissertação (Mestrado) Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos.

COLLABNET INC. ArgoUML project home. Disponível em: < <http://argouml.tigris.org> > . Acesso em: 01 mar. 2004.

COSTAIN, G. Selecting an object-oriented process for student analysts. In: ASIA-PACIFIC SOFTWARE ENGINEERING CONFERENCE (APSEC 2000), 7., Singapore, 2000. Proceedings... Washington, DC: IEEE Computer Society, 2000. p. 384-391. Disponível em: < <http://csdl.computer.org/comp/proceedings/apsec/2000/0915/00/09150384abs.htm> > . Acesso em: 01 mar. 2004.

GENTLEWARE AG. Poseidon for UML. Disponível em: < <http://www.gentleware.com/> > . Acesso em: 01 mar. 2004.

HEUMANN, J. Is a use case a test case? In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRACTICAL SOFTWARE TESTING TECHNIQUES (PSTT 2001 NORTH). Proceedings... St. Paul: Software Dimension, 2001.

IBM CORPORATION. Rational software from IBM. Disponível em: < <http://www-306.ibm.com/software/rational/> > . Acesso em: 01 mar. 2004.

JACOBSON, I.; CHRISTERSON, M.; JONSSON, P.; ÖVERGAARD, G. Object-oriented software engineering: a use case driven approach. Boston: Addison-Wesley, 1992. 552 p.

LARMAN, C. Applying UML and patterns - an introduction to object-oriented analysis and design. Indianapolis: Prentice Hall PTR, 1997. 528 p.

MCGREGOR, J. D.; KARE, A. Testing object-components. In: INTERNATIONAL CONFERENCE TESTING COMPUTER SOFTWARE, 13., 1996, Washington, D. C. Proceedings... [Washington, D. C., 1996?].

MALDONADO, J. C. Critérios potenciais usos: uma contribuição ao teste estrutural de software. 1991. 247 f. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

OBJECT MANAGEMENT GROUP. UML notation guide. In: OBJECT MANAGEMENT GROUP. UML 1.5 specification. Needham, 2003. Chap. 3. Disponível em: <<http://www.omg.org/docs/formal/03-03-10.pdf>> . Visitado em: 01 mar. 2004.

OBJECT MANAGEMENT GROUP. UML notation semantics. In: OBJECT MANAGEMENT GROUP. UML 1.5 specification. Needham, 2003. Chap. 2. Disponível em: <<http://www.omg.org/docs/formal/03-03-09.pdf>> . Visitado em: 01 mar. 2004.

OFFUTT, A. J.; ABDURAZIK, A. Generating tests from UML specifications. p. 416-429. In: FRANCE, R. B.; RUMPE, B. (Ed.). UML '99: the Unified Modeling Language: beyond the standard: proceedings of the 2<sup>nd</sup> international conference, Fort Collins, 1999. New York: Springer-Verlag, 1999. p. 416-429. (Lecture Notes in Computer Science, 1723).

RAPPS, S.; WEYUKER, E. J. Data flow analysis techniques for test data selection. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING, 6., Tokyo, 1982. Proceedings...Tokyo: Information Processing Society of Japan, 1982. p. 272-278.

RYSER, J.; GLINZ, M. A practical approach to validating and testing software systems using scenarios. In: INTERNATIONAL SOFTWARE QUALITY WEEK EUROPE (QWE'99), 3., 1999, Brussels. Proceedings... San Francisco: Software Research Institute, 1999.

TELESP CELULAR. Manual do cliente e termo de compromisso: Baby o celular inteligente. [S. l., 2000?]. 47 p.

## Apêndice

## Apêndice A — Descrição Textual do Sistema de Controle da Telesp Celular

A seguir, é apresentada a descrição textual do sistema de controle do celular pré-pago Baby da Telesp. Essa descrição é uma adaptação do *Manual do Cliente e Termo de Compromisso do Celular Pré-Pago Baby da Telesp* (TelespCelular, 2000) realizada por profissionais do centro de pesquisa Embrapa Informática Agropecuária como parte do curso intitulado "Modelagem de Requisitos Usando Casos de Uso" (Chaim et al., 2002).

### 1) Descrição Geral do Sistema

O Baby é um celular que funciona com créditos. O crédito é um valor em reais que fica vinculado ao número do seu celular, permitindo que você faça e receba suas ligações. À medida que você usa o Baby, o custo das suas ligações vai sendo automaticamente deduzido do seu saldo. Você poderá recarregar seu Baby com novos créditos sempre que quiser.

### Períodos de Validade do Crédito

O prazo de validade de cada crédito é constituído por três períodos, conforme mostra a Tabela C.1 abaixo.

Tabela C.1. Períodos de validade do crédito do cliente.

Valor do Crédito	1o. Período	2o. Período	3o. Período	Prazo de validade total para uso do serviço
R\$ 50,00	90	+ 30 dias	+ 30 dias	150 dias
R\$ 100,00	365	+ 30 dias	+ 30 dias	425 dias
R\$ 200,00	365	+ 30 dias	+ 30 dias	425 dias

Cada período de validade é caracterizado por um conjunto de serviços disponíveis. A Tabela C.2, a seguir, apresenta esses serviços.

Tabela C.2. Serviços disponíveis dentro de cada período de validade do crédito.

Serviços	1o. Período	2o. Período	3o. Período
Fazer ligações	sim	não	não
Fazer ligações a cobrar	sim	não	não
Receber ligações	sim	sim	não
Serviço de atendimento	sim	sim	sim
Serviço automático de consulta de saldo	sim	sim	sim
Números gratuitos	sim	não	não
Códigos de emergência	sim	sim	sim

## II) 1º. Período

A duração varia conforme o valor do crédito inicial ou do crédito adquirido no recarregamento (veja Tabela C. 1).

O 1º. período tem início em duas situações distintas:

- a) No dia que você faz sua primeira ligação com o baby;
- b) No dia que você faz um novo recarregamento de crédito.

### Baby com Crédito

Faz e recebe ligações normalmente, dentro da área de cobertura da Telesp Celular. Mesmo com saldo positivo, você poderá fazer recarregamento porque o valor do crédito adquirido neste período será sempre somado ao saldo existente.

### Baby sem Crédito

Se estiver na área de cobertura da Telesp Celular, continua recebendo ligações, mas somente poderá fazer para o serviço de atendimento, aos códigos de emergência, números gratuitos e fazer ligações a cobrar. Fazendo um recarregamento, você volta a usar o seu celular sem restrições.

### Final do 1º. Período

Se você não fizer um recarregamento até o último dia deste período, inicia-se a contagem do 2º. período, independentemente do saldo do Baby.

## III) 2º. Período: 30 dias

Sempre que não for feito um recarregamento até o último dia do 1º. período, o crédito passa automaticamente para o 2º. período, independentemente do valor do saldo. Durante esse período, o Baby não estará disponível para fazer ligações, exceto para os códigos de emergência e para o serviço de atendimento, se você estiver na área de cobertura da Telesp Celular. Até o final deste período, dentro da área de cobertura da Telesp Celular, você continuará recebendo ligações normalmente.

### Saldo Bloqueado Pode Ser Liberado

Se o seu Baby estava com saldo positivo, neste período o crédito ficará bloqueado para fazer ligações. Fazendo um recarregamento neste período, o saldo será desbloqueado e o valor do novo crédito será somado ao saldo existente. Neste caso, o 1º. período será reiniciado no dia do recarregamento e o valor total do saldo ficará disponível para você fazer e receber ligações normalmente.

Final do 2º. Período

Se você não fizer um recarregamento até o final do 2º. período, inicia-se automaticamente a contagem do 3º. período, que corresponde ao período final do prazo de validade do serviço Baby.

IV) 3º. Período: 30 dias

A partir deste período, você não receberá mais ligações e, enquanto não fizer um recarregamento, somente poderá ligar para os códigos de emergência e para o serviço de atendimento.

Observação: sempre que você fizer um recarregamento, antes do final do 3º. período, o novo crédito será somado ao saldo existente, mesmo que este esteja bloqueado.

V) Tarifação

A tarifa básica é de R\$ 0,80 por minuto, sendo que 1 minuto é cobrado a partir de 1 segundo de conversação. Por exemplo, se o cliente fala 1 segundo, é cobrado 1 minuto; se ele fala 4 minutos e 1 segundo, são cobrados 5 minutos.

VI) Telefones de Emergência e de Outros Serviços

A seguir, a Tabela C.3 apresenta os telefones de emergência e de outros serviços disponíveis.

Tabela C.3. Telefones de emergência e de outros serviços disponíveis.

Serviço de Atendimento Personalizado ao Cliente	*5000
Serviço Automático de Consulta ao Saldo	*5005
Números gratuitos	0800 XXX XXXX
Polícia Civil	147
Polícia Militar	190
Pronto Socorro	192
Corpo de Bombeiros	193
Defesa Civil	199

VII) Especificação do Sistema

O sistema deverá controlar todo serviço de telefonia celular pré-pago Baby da Telesp, o que envolve o controle dos créditos disponíveis e das chamadas recebidas e realizadas. A seguir são descritas as principais funções do sistema.

### Funções de Controle

- *Atualiza o crédito*: após cada chamada, atualiza-se o crédito disponível para o telefone;

- *Controla período*: antes de cada chamada, é verificado o período do telefone;

- *Controla ligações*: antes de cada chamada, é verificado se o telefone pode fazer a ligação para o telefone solicitado em função do período atual do telefone. Antes de receber uma chamada, é verificado se o telefone está em um período que possibilita o recebimento de chamadas;

- *Recarrega telefone*: atualiza o saldo e, a partir do valor do recarregamento, o período.

### Funções de Consulta e Aviso

- *Consulta ao serviço de atendimento*: ao ligar para o número \*5000, o usuário pode ter atendimento personalizado, falando com uma atendente Telesp Celular; ao ligar para o número \*5005, o usuário pode fazer uma consulta automática ao saldo do seu telefone;

- *Aviso de expiração do período*: sempre que a data corrente é mudada, o sistema emite uma mensagem para os telefones cujos períodos atuais expirarão em três dias;

- *Aviso de baixo saldo*: se o saldo do telefone é igual ou inferior a R\$2,00, antes de realizar uma ligação, é emitida uma mensagem avisando que o saldo está muito baixo.



---

*Informática Agropecuária*

Ministério da Agricultura, Governo  
Pecuária e Abastecimento Federal



