



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

## APLICAÇÃO DE CONTROLE SUPERVISÓRIO PARA AUTOMATIZAÇÃO DO CÁLCULO DE COTAS DE FUNDOS DE INVESTIMENTO

Joao Vitor Costa Percia

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadores: Lilian Kawakami Carvalho  
Marcos Vinícius Silva Alves

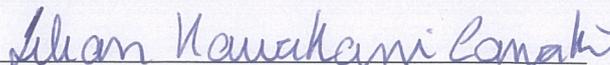
Rio de Janeiro  
Setembro de 2019

APLICAÇÃO DE CONTROLE SUPERVISÓRIO PARA AUTOMATIZAÇÃO DO  
CÁLCULO DE COTAS DE FUNDOS DE INVESTIMENTO

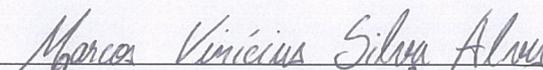
Joao Vitor Costa Percia

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO  
DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO  
DE AUTOMAÇÃO.

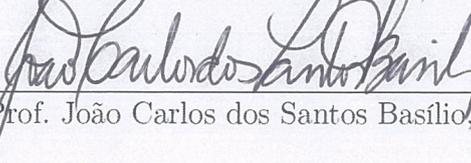
Examinado por:



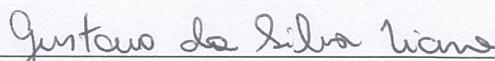
Prof. Lilian Kawakami Carvalho, D.Sc.



Prof. Marcos Vinícius Silva Alves, D.Sc.



Prof. João Carlos dos Santos Basílio, Ph.D.



Prof. Gustavo da Silva Viana, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
AGOSTO DE 2019

Percia, Joao Vitor Costa

Aplicação de controle supervísório para automatização do cálculo de cotas de fundos de investimento/Joao Vitor Costa Percia. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2019.

XII, 78 p.: il.; 29, 7cm.

Orientadores: Lilian Kawakami Carvalho

Marcos Vinícius Silva Alves

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia de Controle e Automação, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 51 – 53.

1. Fundos de Investimento. 2. Controle Supervísório.  
3. Sistemas a Eventos Discretos. I. Kawakami Carvalho, Lilian *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia de Controle e Automação. III. Título.

*Ao meu avô José Carlos da  
Costa, exemplo de pessoa.*

# Agradecimentos

Agradeço a minha mãe Claudia pelo apoio incondicional em todos os momentos, ao meu pai Marcelo pela motivação e incentivo de seguir no caminho da engenharia, minha irmã Luiza pelo carinho que sempre traz, a Marina, pelo incentivo, atenção e carinho oferecido a mim e ao restante da minha família que me proporcionou uma base e confiança de ter sempre seu apoio e amizade.

Aos meus amigos de Petrópolis, do intercâmbio em Manhattan-KS e da UFRJ, em especial ao Lucas que foi essencial nos momentos mais difíceis do curso.

Aos meus orientadores, Marcos Vinícius, pelo empenho e paciência me apoiando nesse trabalho, e Lilian por acreditar na minha ideia e dar suporte a esse trabalho.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Automação.

## APLICAÇÃO DE CONTROLE SUPERVISÓRIO PARA AUTOMATIZAÇÃO DO CÁLCULO DE COTAS DE FUNDOS DE INVESTIMENTO

Joao Vitor Costa Percia

Setembro/2019

Orientadores: Lilian Kawakami Carvalho  
Marcos Vinícius Silva Alves

Curso: Engenharia de Controle e Automação

Este trabalho consiste na aplicação da metodologia de projeto de controle supervisorio ao processo de cálculo de cotas de fundos de investimentos. A metodologia aplicada visa atender as especificações de projeto, sendo minimamente restritivo na alcançabilidade do sistema. O cálculo de cotas de fundos de investimento foi modelado por dez plantas, cada uma representando um subprocesso do cálculo. Os fundos foram separados em duas classes que necessitam de uma ordenação diferente na execução dos subprocessos: fundos com cálculo de cotas de abertura e fundos com cálculo de cotas de fechamento. Propõe-se um supervisor para garantir a ordenação correta para cada classe de fundo. O projeto dos supervisores foi feito utilizando como ferramenta a biblioteca *DESLab*, implementada em linguagem de programação *Python*.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

## SUPERVISORY CONTROL APPLIED TO INVESTMENT FUNDS QUOTA CALCULUS

Joao Vitor Costa Percia

September/2019

Advisors: Lilian Kawakami Carvalho  
Marcos Vinícius Silva Alves

Course: Automation and Control Engineering

This work considers the design of a supervisory control of discrete event systems for the investment fund quota calculation process. The methodology applied aims to meet the project specifications, being minimally restrictive in the system reachability. The investment fund quota calculus was modeled by ten plants, each representing a subprocess of the calculation. The funds have been separated into two classes that require different ordering in the execution of subprocesses: funds with opening quota calculations and funds with closing quota calculations. The controller must ensure correct ordering for each investment fund class. The design of the supervisors was implemented the software *DESLab*, implemented *Python* programming language.

# Sumário

|   |            |
|---|------------|
| <b>Lista de Figuras</b>   | <b>x</b>   |
| <b>Lista de Tabelas</b>   | <b>xii</b> |
| <b>1 Introdução</b>   | <b>1</b>   |
| <b>2 Fundamentos Teóricos</b>   | <b>5</b>   |
| 2.1 Sistemas a Eventos Discretos . . . . .                                    | 5          |
| 2.1.1 Linguagem . . . . .   | 6          |
| 2.1.2 Autômatos . . . . .   | 8          |
| 2.1.3 Operações com Autômatos . . . . .                                       | 10         |
| 2.2 Controle Supervisório . . . . .   | 11         |
| 2.2.1 Controle Supervisório sob Controlabilidade Parcial . . . . .            | 13         |
| 2.2.2 Controle Supervisório Desmarcador . . . . .                             | 15         |
| 2.3 Controle Supervisório Modular . . . . .                                   | 16         |
| <b>3 Modelagem de Fundos de Investimento por Sistemas a Eventos Discretos</b> | <b>18</b>  |
| 3.1 Conceitos Fundamentais de Fundos de Investimento . . . . .                | 18         |
| 3.1.1 Definição . . . . .   | 19         |
| 3.1.2 Conceitos Gerais . . . . .  | 20         |
| 3.1.3 Automatização de serviço de fundos de investimento . . . . .            | 23         |
| 3.2 Modelagem do Cálculo de Cotas de Fundos de Investimento . . . . .         | 23         |
| 3.2.1 Processos de Abertura e de Apuração de Cota . . . . .                   | 25         |
| 3.2.2 Processo de Cálculo de Exigibilidades . . . . .                         | 26         |
| 3.2.3 Processo de Importação de Movimentações . . . . .                       | 26         |
| 3.2.4 Processo de Liquidação de Movimentações . . . . .                       | 27         |
| 3.2.5 Processo de Impacto de Movimentações . . . . .                          | 28         |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.2.6    | Processo de Valorização de Ativos . . . . .   | 29        |
| 3.2.7    | Processo de Atualização de Interfaces . . . . .   | 30        |
| 3.2.8    | Processo de Validação . . . . .   | 30        |
| 3.2.9    | Processo de Efetivação de Movimentações . . . . .   | 31        |
| 3.2.10   | Período de solicitação de movimentações . . . . .   | 32        |
| 3.2.11   | Controlabilidade e Observabilidade . . . . .  | 33        |
| <b>4</b> | <b>Projeto de um Controle Supervisório pra o Cálculo de Cotas de Fundos de Investimento</b> | <b>35</b> |
| 4.1      | Especificações de Controle . . . . .  | 35        |
| 4.1.1    | Fundo de Investimento com Cota de Fechamento . . . . .                                      | 35        |
| 4.1.2    | Fundo de Investimento com Cota de Abertura . . . . .  | 39        |
| 4.2      | Síntese e Realização dos Supervisores . . . . .   | 43        |
| 4.3      | Análise dos Comportamentos em Malha Fechada de $S_d^f/G$ e $S_d^a/G$ . . . . .              | 45        |
| <b>5</b> | <b>Conclusões</b>   | <b>49</b> |
|          | <b>Referências Bibliográficas</b>   | <b>51</b> |
| <b>A</b> | <b>Código Python DESLab de Modelagem das Plantas, Restrições e Operações Realizadas</b>     | <b>54</b> |
| <b>B</b> | <b>Função de transição de estados de <math>H_m^f</math> (Fundos de Fechamento)</b>          | <b>73</b> |
| <b>C</b> | <b>Função de transição de estados de <math>H_m^a</math> (Fundos de Abertura)</b>            | <b>76</b> |

# Lista de Figuras

|      |  |    |
|------|--|----|
| 2.1  | Autômato exemplo $G$ . . . . .   | 9  |
| 2.2  | Operações unárias com autômatos: (a) $Ac(G)$ ; (b) $CoAc(G)$ ; (c) $Trim(G)$   | 10 |
| 2.3  | Operações com autômatos: (a) $G_1$ ; (b) $G_2$ ; (c) $G_1 \times G_2$ ; (d) $G_1 \parallel G_2$ . . .  | 12 |
| 2.4  | Modelo de Controle Supervisório. . . . .   | 12 |
| 2.5  | Automato $G_1$ do exemplo 5 . . . . .  | 15 |
| 2.6  | Controle supervisório modular com dois supervisores. . . . .   | 16 |
| 3.1  | Autômato $G_1$ , que modela os processos de Abertura e Cálculo de Cota. . .  | 25 |
| 3.2  | Autômato $G_2$ , que modela o processo de Cálculo de Exigibilidades. . . .   | 26 |
| 3.3  | Autômato $G_3$ , que modela o processo de importação de movimentações. . .   | 27 |
| 3.4  | Autômato $G_4$ , que modela o processo de liquidação de movimentações. . .   | 28 |
| 3.5  | Autômato $G_5$ , que modela o processo de impacto de movimentações. . . .  | 29 |
| 3.6  | Autômato $G_6$ , que modela o processo de Valorização de Ativos. . . . .   | 30 |
| 3.7  | Autômato $G_7$ , que modela o processo de Atualização de Interfaces. . . . .   | 31 |
| 3.8  | Autômato $G_8$ , que modela o processo de validação. . . . .   | 31 |
| 3.9  | Autômato $G_9$ , que modela o processo de Efetivação de Movimentações. . .   | 32 |
| 3.10 | Autômato $G_{10}$ , que modela período de solicitação de Movimentações. . .  | 33 |
| 4.1  | Autômatos (a) $H_{f1}$ , (b) $H_{f2}$ e (c) $H_{f3}$ , que modelam as especificações referentes aos processos de Exigibilidade, Valorização e Impacto de Movimentações, respectivamente. . . . . | 36 |
| 4.2  | Autômato $H_{f4}$ que modela a especificação referente ao processamento das movimentações. . . . .   | 37 |
| 4.3  | Autômato $H_{f5}$ que modela a especificação do processo de validação referente ao processo de Exigibilidade. . . . .  | 37 |
| 4.4  | Autômato $H_{f6}$ que modela a especificação do processo de validação referente ao processo de Valorização. . . . .  | 37 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.5  | Autômato $H_{f7}$ que modela a especificação do processo de validação referente ao processo de Importação de Movimentações. . . . .  | 38 |
| 4.6  | Autômato $H_{f8}$ que modela a especificação referente ao processo de Apuração de Cota. . . . .  | 38 |
| 4.7  | Autômato $H_{f9}$ que modela a especificação referente aos processos de Efetivação e Atualização de Interfaces. . . . .  | 38 |
| 4.8  | Autômato $H_{f10}$ que modela a especificação associada ao fechamento de solicitação de movimentações. . . . .   | 39 |
| 4.9  | Autômato $H_{a1}$ que modela a especificação referente ao processo de Exigibilidade. . . . .   | 40 |
| 4.10 | Autômato $H_{a2}$ que modela a especificação referente ao processo de Valorização de Ativos. . . . .   | 40 |
| 4.11 | Autômatos que modelam as especificações referentes ao processo de validação, (a) $H_{a3}$ e (b) $H_{a4}$ , referentes aos processos de Exigibilidade e Valorização, respectivamente. . . . . | 41 |
| 4.12 | Autômato $H_{a5}$ que modela a especificação referente ao processo de Apuração de Cota. . . . .  | 41 |
| 4.13 | Autômato $H_{a6}$ que modela a especificação referente ao processamento de movimentações. . . . .  | 41 |
| 4.14 | Autômatos que modelam as especificações referentes ao processo de Atualização de Interfaces (a) $H_{a7}$ e (b) $H_{a8}$ . . . . .  | 42 |
| 4.15 | Autômato $H_{a9}$ que modela a especificação referente ao processo de Abertura. . . . .  | 43 |
| 4.16 | Autômato $H_{f10}$ que modela a especificação associada ao fechamento de solicitação de movimentações. . . . .   | 43 |
| 4.17 | Comportamento Esperado Fundo de Fechamento. . . . .  | 47 |
| 4.18 | Comportamento Esperado Fundo de Abertura. . . . .  | 48 |

# Lista de Tabelas

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Principais prestadores de serviço de um fundo de investimento e descrição de suas funções. . . . . | 21 |
| 3.2 | Classificações de Fundos de Investimento conforme definidas na ICVM555.                            | 22 |
| 3.3 | Características das Cotas de Abertura e Fechamento. . . . .  | 22 |

# Capítulo 1

## Introdução

O mercado financeiro, que, principalmente no Brasil, sempre foi muito concentrado, está sofrendo uma revolução guiada pela evolução tecnológica. Tal fenômeno ocorre pois a utilização de tecnologias aplicadas à área de finanças possibilita a entrada de novos concorrentes no mercado, que anteriormente tinham como barreira de entrada grandes custos relacionados, principalmente, ao atendimento ao cliente e à custódia e administração dos ativos financeiros. Com a utilização de soluções tecnológicas, todos esses custos podem ser reduzidos e os controles necessários podem ser automatizados e simplificados. O mercado bancário já sofreu essa revolução no passado com a introdução dos caixas automáticos e mais recentemente com a digitalização dos meios de pagamentos e atendimento que impulsionou o crescimento acelerado no número de *fintechs*. O conceito *fintechs* tem sido utilizado para denominar empresas ou iniciativas que se utilizam da tecnologia para trazer inovações na área financeira. A definição do termo atribuída por SCHUEFFEL [1], após analisar a literatura acadêmica, é que *fintech* é uma nova indústria financeira que aplica tecnologia para evoluir as atividades financeiras. Nesse contexto, SIEGL E JUNIOR [2] mostram como facilidades trazidas pela implementação de tecnologias e plataformas online possibilitaram a redução de preços dos serviços impactando o mercado bancário brasileiro, parte mais expressiva do mercado financeiro no Brasil.

Outro fator que tem impulsionado essa revolução no mercado financeiro brasileiro é a perspectiva do mercado com a estabilização da economia brasileira, devido à evolução da inflação nos últimos anos, a atual situação de atenção com a previdência social e a paulatina redução da taxa de juros SELIC, realizada pelo governo. Como consequência disso, grandes e pequenos investidores brasileiros estão sendo estimulados a buscar novas formas de investimento, com rentabilidades mais atrativas. Dessa forma, modalidades

de investimento mais conservadoras, como, por exemplo, a poupança, ativos de renda fixa de bancos tradicionais e títulos públicos federais, estão sendo trocados por outras modalidades mais diversificadas e arrojadas, como, por exemplo ativos de renda fixa de bancos menos representativos, crédito privado, fundos imobiliários e ativos de renda variável. O aumento no número de novos investidores tem criado um grande mercado consumidor as para *fintechs* que operam no varejo, utilizando a tecnologia para reduzir as dificuldade técnicas e, principalmente, as taxas de serviço cobradas.

Nesse cenário no qual novos investidores, normalmente inexperientes, buscam por novas opções de investimento, um dos produtos que mais se destaca são os fundos de investimento. Fundos de investimentos são veículos de investimento coletivo sob forma de condomínio conforme definido pela Associação Brasileira das Entidades dos Mercados Financeiro e de Capitais (ANBIMA) [3]. Os fundos de investimento são, provavelmente, o ativo mais democrático do mercado financeiro, oferecendo, de forma simplificada e com baixíssima barreira de entrada, a um público alvo grande e diversificado, acesso a diferentes ativos e mercados de forma equitária, independente do capital investido. Segundo a ANBIMA, existem atualmente mais de 16.000 fundos de investimento no Brasil, sendo que cada um destes tem características específicas de alocação de capital, desde a mais segura a mais sofisticada e arriscada, incluindo alocações em classes específicas de ativos. Uma vantagem do investimento via fundos, em oposição ao investimento direto nos ativos, é que os fundos de investimento contratam agentes especializados para fazer o controle e gestão do fundo, de forma a manter o fundo dentro da característica de investimento desejada. Esses agentes estão sob a regulação direta da Comissão de Valores Mobiliários (CVM), que busca defender os interesses dos investidores. A Instrução Normativa da CVM número 555 (ICVM555) [3], publicada pela CVM regula o mercado e os prestadores de serviço de fundos de investimento.

O crescimento na procura por fundos de investimento está aumentando a complexidade da administração dos desses produtos, assim como estimula a criação de novos fundos para atender a demanda crescente por esta modalidade de investimento. Esse fenômeno exacerbou a necessidade da adoção de técnicas de automação na administração de fundos de investimento, de modo a possibilitar o aumento da oferta, sem aumentar proporcionalmente os custos. Além disso, a automatização da administração de fundos de investimento reduz os riscos e erros e possibilita a escalabilidade deste serviço. A administração de um fundo de investimento é um processo diário, cíclico e bem definido, que deve ser executado da forma mais rápida e eficiente possível, gerando economias ao administrador e segurança ao investidor.

De acordo com a IVCM555, o fundo necessita contratar prestadores de serviço para

executar tarefas como a gestão e administração do fundo. A Gestão de um fundo consiste na aplicação do patrimônio do fundo em títulos e valores mobiliários, expondo-se aos riscos específicos descritos no regulamento do fundo. Inteligência artificial e automação tem sido aplicados para reduzir riscos na gestão de ativos [4], [5], [6], [7]. Por sua vez, a administração do fundo consiste em tarefas como o controle do passivo do fundo, o cálculo da cota do fundo, o cálculo e pagamento de taxas e o recolhimento de impostos. Atualmente, o gerenciamento das várias etapas do cálculo da cota de um fundo são normalmente, realizadas por um operador, tornando o processo suscetível a erros. O gerenciamento manual das etapas do cálculo também impacta na escalabilidade do processo, devido à limitação do número de fundos que um operador consegue gerenciar.

Em ciência da automação, uma classe importante de sistemas tem a sua dinâmica conduzida pela ocorrência assíncrona de eventos, esses sistemas são chamados de Sistemas e Eventos Discretos (SED) [8]. O comportamento de um SED está associada a sequencia de eventos possíveis de serem executadas por ele, chamada de linguagem gerada do SED. Quando esta linguagem não satisfaz um dado comportamento desejado, podemos limitá-la pela utilização de um controlador. No Controle Supervisório, proposto por RAMADGE e WONHAM [9], [10], adiciona-se um controle realimentado que restringe a linguagem gerada em malha fechada a um subconjunto da linguagem gerada em malha aberta. O controle supervisório pode ser utilizado por exemplo no controle de uma linha férrea, de modo a garantir as rotas corretas de cada trem e que não haverá colisão entre dois trens que estejam no mesmo circuito.

Neste trabalho, propõe-se se utilizar a teoria de Controle Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos para automatizar o gerenciamento das etapas do cálculo da cota de fundos de investimento, com o objetivo de tornar esse procedimento mais eficiente, escalável e robusto a falhas operacionais. Com isso em mente, será proposto um modelo a eventos discretos para o processo de cálculo da cota de um fundo de investimento, no qual cada subprocesso é modelado por um autômato de estados finitos [11]. Então, com base nesse modelo, serão propostas especificações de controle, também modeladas por autômatos de estados finitos, que garantem a correta execução do cálculo, para duas classes de fundos de investimentos, quais sejam: fundos com cota de abertura e fundos com cota de fechamento.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira. Os capítulos 2 e 3 apresentam a teoria aplicada no desenvolvimento do trabalho e necessária para entendimento do mesmo. No capítulo 2 será introduzida a teoria de sistemas a eventos discretos, a modelagem por autômatos e a teoria de controle supervisório e controle supervisório modular. No capítulo 3 serão apresentadas definições e conceitos básicos sobre fundos

de investimento e seu funcionamento, posteriormente serão abordados os subprocessos relacionados ao processo de cálculo da cota de um fundo de investimento além da análise de Observabilidade e Controlabilidade do processo. No capítulo 4 será demonstrada a metodologia deste trabalho para o projeto e implementação do controle supervisorio no processo de cálculo da cota de um fundo de investimento e os resultados obtidos. Finalmente, no capítulo 5 serão discutidas as conclusões decorrentes deste trabalho.

# Capítulo 2

## Fundamentos Teóricos

Neste capítulo será abordado de forma resumida as teorias estudadas e utilizadas no projeto, necessárias para entendimento do trabalho. A seção 2.1 trata da teoria de sistemas a eventos discretos. A seção 2.2 aborda o Controle Supervisório de Sistema a Eventos Discretos. A teoria apresentada nestas seções foi baseada em CASANDRAS e LAFORTUNE [8], WONHAM [9], ALVES [12] e LAGRECA [13]. A seção 2, que trata de Controle Supervisório Desmarcador foi baseada em QUEIROZ e CURY [14].

### 2.1 Sistemas a Eventos Discretos

O termo sistema é utilizado de forma ampla para se referir a um conjunto de "componentes" que interagem visando cumprir um "objetivo". Um sistema não precisa estar associado a objetos físicos e leis da natureza podendo também ser constituído de componentes abstratos, o que torna a teoria de sistemas aplicável a modelagem de proporciona *frameworks* muito úteis para modelar mecanismos econômicos [8].

Uma das classes de sistemas é aquela onde os sistemas tem espaços de estados discretos e suas transições de estados estão associadas com eventos assíncronos em tempo discreto. Um evento evento pode ser interpretado como uma ocorrência instantânea que causa uma transição de um estado para outro. Também podem ser associados a ações específicas como a ação de um operador interferindo no sistema, o recebimento de uma solicitação de outro sistema ou até mesmo ativado por um agendamento. Tais sistemas onde a transição de estados é dada pela ocorrência de eventos são chamados de Sistemas a Eventos Discretos formalmente definido como:

**Definição 1 (Sistema a eventos discretos [8])** *Um sistema a eventos discretos*

(SED) é um sistema dinâmico com espaço de estados discreto, onde a evolução de estados é ditada pela ocorrência de eventos discretos assíncronos.

Devido à natureza assíncrona das transições de estados de SEDs, seu comportamento é frequentemente modelado como uma função de sequência de eventos. Tal sequência de eventos é chamada de linguagem.

### 2.1.1 Linguagem

O alfabeto de um SED é o conjunto formado por todos os eventos do SED, sendo denotado por  $\Sigma$ . Pode-se formar palavras a partir da concatenação de eventos pertencentes a  $\Sigma$ . Por exemplo, seja  $\Sigma = a, b$ , a palavra  $s = ab$  é obtida concatenando-se os eventos  $a$  e  $b$ , por sua vez, a palavra  $t = abb$  é obtida concatenando-se a palavra  $s$  com o evento  $b$ . O conjunto de todas as palavras de comprimento finito formadas por eventos de  $\Sigma$  é chamado de Fecho de Kleene do conjunto  $\Sigma$ , sendo denotado por  $\Sigma^*$ . Vale ressaltar que  $\Sigma^*$  também contém a palavra vazia, a qual é denotada por  $\varepsilon$ . A palavra vazia é o elemento neutro da concatenação, ou seja  $\varepsilon s = s\varepsilon = s$  para todo  $s \in \Sigma^*$ . O conceito de linguagem pode ser definido formalmente como apresentado a seguir:

**Definição 2 (Linguagem [12])** *Uma linguagem definida sobre um conjunto de eventos  $\Sigma$  (alfabeto) é um conjunto de palavras de comprimento finito formadas por meio de concatenação de eventos de  $\Sigma$ .*

### Operações com Linguagens

Note que uma linguagem é um conjunto cujos elementos são palavras, e portanto as operações usuais de conjuntos, como união, interseção, diferença e complemento, são aplicáveis as linguagens. Adicionalmente a essas operações, existem outras operações que podem ser utilizadas com linguagens. Tais operações serão apresentadas a seguir.

A *Concatenação* de duas linguagens  $K_1$  e  $K_2$  definidas sobre o mesmo conjunto de eventos  $\Sigma$ , é dada por

$$K_1 K_2 := \{s \in \Sigma^* : (\exists s_1 \in K_1)(\exists s_2 \in K_2)[s = s_1 s_2]\}$$

O *Fecho de Kleene* de uma linguagem  $K$  é o conjunto formado por todas as possíveis concatenações entre sequências pertencentes a  $K$ , incluindo a sequência nula, sendo formalmente definido como

$$K^* = \{\varepsilon\} \cup K \cup KK \cup KKK \cup \dots$$

O *Fecho do Prefixo* de uma linguagem  $K$  é o conjunto de todos os prefixos de todas as sequências pertencentes a  $K$ .

$$\overline{K} := \{s \in \Sigma^* : (\exists t \in \Sigma^*)[st \in K]\}$$

Percebe-se que  $K \subseteq \overline{K}$ . A linguagem  $K$  é dita ser prefixo fechada se  $K = \overline{K}$ .

**Exemplo 1** Para ilustrar as operações apresentadas anteriormente, considere o conjunto de eventos  $\Sigma = \{a, b, c\}$  e as linguagens  $L_1 = \{a, ac, acc\}$  e  $L_2 = \{\varepsilon, a, b, c, ab\}$  definidas sobre  $\Sigma$ . Os resultados das operações de união, diferença de  $L_1$  em relação a  $L_2$  e o complemento de  $L_1$  em relação a  $\Sigma^*$  são apresentadas a seguir:

$$L_1 \cup L_2 = \{\varepsilon, a, b, c, ab, ac, acc\}$$

$$L_1 \cap L_2 = \{a\}$$

$$L_1 \setminus L_2 = \{ac, acc\}$$

$$L_1^C = \{\varepsilon, b, c, aa, ab, ba, bb, bc, ca, cb, cc, aaa, \dots\}$$

Uma *Projeção Natural*  $P$ , ou apenas *Projeção*  $P$ , é uma função que mapeia sequências definidas sobre um conjunto de eventos  $\Sigma_g$  em sequências definidas sobre um conjunto de eventos  $\Sigma_p$ , tais que  $\Sigma_p \subset \Sigma_g$  dados dois conjuntos de eventos  $\Sigma_p$  e  $\Sigma_g$  tais que  $\Sigma_p \subset \Sigma_g$ , sendo formalmente definida da seguinte forma:

$$P : \Sigma_g^* \longrightarrow \Sigma_p^* \\ s \longmapsto P(s)$$

em que:

$$P(\varepsilon) := \varepsilon; \\ P(\sigma) := \begin{cases} \sigma, & \text{se } \sigma \in \Sigma_p; \\ \varepsilon, & \text{se } \sigma \in \Sigma_g \setminus \Sigma_p; \end{cases}$$

$$P(s\sigma) := P(s)P(\sigma), \text{ para } s \in \Sigma_g^* e \sigma \in \Sigma_g$$

A projeção  $P(K)$  de uma linguagem  $K$  é o conjunto formado pelas projeções de todas as sequências pertencentes a  $K$ .

A *projeção inversa*, denotada por  $P^{-1}$ , é o mapeamento:

$$P : \Sigma_p^* \longrightarrow 2^{\Sigma_g^*}$$

$$t \longmapsto \{s \in \Sigma_g^* : P(s) = t\}$$

A *projeção inversa*  $P^{-1}(K)$  de uma linguagem  $K \subseteq \Sigma_p^*$  é a união das projeções inversas de todas as sequências pertencentes a  $K$ .

**Exemplo 2** *Considere os conjuntos de eventos  $\Sigma_g = \{a, b, c\}$  e  $\Sigma_p = \{a\}$  e as linguagens  $L_1 = \{a, b, c, ac, abba\}$  e  $L_2 = \{b\}$  definidas sobre  $\Sigma_g$  e  $\Sigma_p$  respectivamente. O resultado da aplicação de  $P : \Sigma_g^* \longrightarrow \Sigma_p^*$  e  $P^{-1} : \Sigma_p^* \longrightarrow 2^{\Sigma_g^*}$  a  $L_1$  e  $L_2$  respectivamente, são:*

$$P(L_1) = \{\varepsilon, a, aa\}$$

$$P^{-1}(L_2) = \{a, c\}^* \{b\} \{a, c\}^*$$

As linguagens são um boa representação da dinâmica de um SED, porém, em muitos casos, são difíceis de serem especificadas e analisadas. Além disso, as operações com linguagens podem se tornar complexas, quando as linguagens envolvidas tem cardinalidade infinita, o que torna necessário a utilização de outras ferramentas para o estudo e a manipulação de linguagens associadas a um SED. Uma dessas ferramentas é o autômato, que será descrito na subseção a seguir.

## 2.1.2 Autômatos

Autômatos são dispositivos utilizados para representar uma linguagem baseando-se em regras bem definidas. Um autômato representa uma linguagem usando uma estrutura de transição de estados que especifica quais eventos podem ocorrer em cada estado do sistema. Formalmente, um autômato determinístico  $G$  é uma sêxtupla:

$$G = (X, \Sigma, f, \Gamma, x_0, X_m) \tag{2.1}$$

em que  $X$  é o conjunto de estados de  $G$ ,  $\Sigma$  é o conjunto finito de eventos,  $f : X \times \Sigma \longrightarrow X$  é a função de transição de estados,  $\Gamma : X \longrightarrow 2^\Sigma$  é a função de eventos ativos, tal que  $\Gamma(x)$  é formado por todos os eventos  $\sigma \in \Sigma$  para os quais  $f(x, \sigma)$  é definida,  $x_0$  é o estado inicial e  $X_m \subseteq X$  é o conjunto de estados marcados.

O diagrama de transição de estados de um autômato é um grafo no qual cada círculo corresponde a um estado de  $X$  e cada arco está associado a uma ou mais transições rotuladas por eventos do conjunto  $\Sigma$ . O estado inicial  $x_0$  é indicado por uma seta e os estados marcados  $X_m$  são ilustrados por um círculo duplo, conforme ilustrado no exemplo a seguir:

**Exemplo 3** Para o autômato ilustrado na figura 2.1, o conjunto de estados é dado por  $X = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ , o conjunto de eventos  $\Sigma = \{a, b, c, d\}$ , a função de transição de estados  $f$

$$\begin{aligned} f(1, a) &= 2; & f(2, a) &= 3; & f(3, d) &= 3; \\ f(3, b) &= 4; & f(4, d) &= 5; & f(4, c) &= 1; \\ f(5, c) &= 5; & f(6, a) &= 4 \end{aligned}$$

, a função de eventos ativos  $\Gamma$

$$\begin{aligned} \Gamma(1) &= \{a\}; & \Gamma(2) &= \{a\}; & \Gamma(3) &= \{b, d\}; \\ \Gamma(4) &= \{c, d\}; & \Gamma(5) &= \{c\}; & \Gamma(6) &= \{a\} \end{aligned}$$

, o estado inicial  $x_0 = 1$  e o conjunto de estados marcados  $X_m = \{1, 2\}$

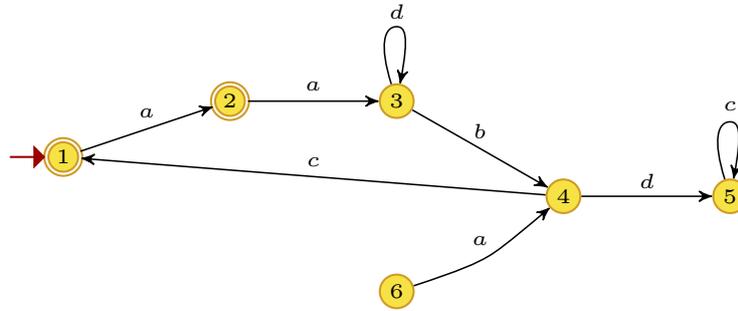


Figura 2.1: Autômato exemplo  $G$ .

Dois conceitos importantes de autômatos são a linguagem gerada por um autômato  $G$ , denotada  $L(G)$  é o conjunto de todas as palavras possíveis geradas a partir do estado inicial e a linguagem marcada por um autômato  $G$ , denotada  $L_m(G) \subseteq L(G)$  é o conjunto de todas as sequências de eventos possíveis a partir do estado inicial que alcançam um estado marcado. Caso uma linguagem possa ser marcada por um autômato finito é dita regular.

**Definição 3 (Linguagem gerada e marcada [12])** A linguagem gerada por um autômato  $G$  é definida como  $L(G) := \{s \in \Sigma^* : f(x_0, s)!\}$ . A linguagem marcada por  $G$  é definida como  $L_m(G) := \{s \in L(G) : f(x_0, s) \in X_m\}$ .

Um estado de bloqueio em um autômato é um estado que, uma vez alcançado não permite que o sistema atinja estados marcados. O bloqueio pode ser definitivo (*deadlock*), quando o estado de bloqueio não é marcado e não possui eventos ativos, ou ativo

(*livelock*), quando o autômato possui um conjunto de estados não marcados que uma vez alcançados permitem que o sistema evolua apenas para outros estados desse conjunto. Por exemplo, o autômato da figura 2.1 possui um bloqueio do tipo *livelock* no estado 5.

### 2.1.3 Operações com Autômatos

Assim como as linguagens é possível realizar operações com autômatos, as operações com autômatos existem em duas formas, as unárias, onde envolvem apenas um autômato e as envolvendo mais de um autômato.

Considerando um autômato  $G = \{X, \Sigma, f, \Gamma, x_0, X_m\}$ , um estado  $x \in X$  é dito acessível se existe uma sequência  $s \in \Sigma^*$ , tal que  $f(x_0, s) = x$ . Ou seja, existe uma sequência de eventos  $s$  gerada a partir do estado inicial  $x_0$  que alcança tal estado  $x$ . A operação de *Acessibilidade* de um autômato, denotada  $Ac(G)$  elimina todos os estados não acessíveis de  $G$ . Esta operação não afeta as linguagens  $L(G)$  e  $L_m(G)$ . Similarmente, um estado  $x \in X$  é dito coacessível se existe uma sequência  $s \in \Sigma^*$ , tal que  $f(x, s) \in X_m$ . Ou seja, existe uma sequência de eventos  $s$  a partir do estado  $x$  que alcança um estado marcado  $x_m \in X_m$ . A operação de *Coacessibilidade*, denotada  $CoAc(G)$ , elimina todos os estados não coacessíveis de  $G$ . Esta operação não afeta  $L_m(G)$ , porém pode reduzir  $L(G)$ , eliminando estados de bloqueio. A operação de *Redução*, denotada  $Trim(G)$  é a aplicação sequencial das operações  $Ac(G)$  e  $CoAc(G)$ , ou vice-versa.

**Exemplo 4** Considerando o autômato da figura 2.1, podemos verificar que o estado 6 não é acessível, sendo eliminado na operação  $Ac(G)$  mostrada em 2.2. O estado 5, conforme atestado anteriormente, é um *deadlock* e por isso não é coacessível, sendo eliminado pela operação  $CoAc(G)$  conforme mostrado em 2.2. O resultado de ambas operações no autômato  $G$  resultam na operação  $Trim(G)$ , mostrado em 2.2.

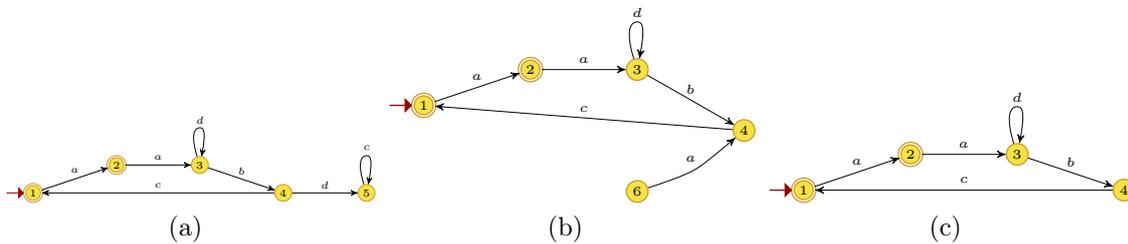


Figura 2.2: Operações unárias com autômatos: (a)  $Ac(G)$ ; (b)  $CoAc(G)$ ; (c)  $Trim(G)$

Para abordar operações envolvendo mais de um autômato vamos considerar os autômatos  $G_1 = \{X_1, \Sigma_1, f_1, \Gamma_1, x_{0_1}, X_{m_1}\}$  e  $G_2 = \{X_2, \Sigma_2, f_2, \Gamma_2, x_{0_2}, X_{m_2}\}$ .

A *composição produto*, ou *produto* permite apenas a ocorrência de eventos comuns  $\sigma \in \Sigma \cap \Sigma_2$  se e somente se estes ocorrem de forma simultânea em ambos os autômatos. Esta operação é definida da seguinte forma

$$G_1 \times G_2 := Ac(X_1 \times X_2, \Sigma \cup \Sigma_2, f_{1 \times 2}, \Gamma_{1 \times 2}, (x_{0_1}, x_{0_2}), X_{m_1} \times X_{m_2}),$$

onde,

$$f_{1 \times 2}((x_1, x_2), \sigma) := \begin{cases} (f_1(x_1, \sigma), f_2(x_2, \sigma)), & \text{se } \sigma \in \Gamma_1(x_1) \cap \Gamma_2(x_2) \\ \text{não definido, caso contrário} \end{cases}$$

$$\Gamma_{1 \times 2} = \Gamma_1(x_1) \cap \Gamma_2(x_2)$$

Na *composição paralela* assim como no produto os eventos comuns só ocorrem simultaneamente em ambos os autômatos, porém os eventos particulares de cada autômato podem ocorrer livremente, sujeitos apenas as restrições do próprio autômato. Esta operação é definida da seguinte forma

$$G_1 \parallel G_2 := Ac(X_1 \times X_2, \Sigma \cup \Sigma_2, f_{1 \parallel 2}, \Gamma_{1 \parallel 2}, (x_{0_1}, x_{0_2}), X_{m_1} \times X_{m_2}),$$

onde,

$$f_{1 \parallel 2}((x_1, x_2), \sigma) := \begin{cases} (f_1(x_1, \sigma), f_2(x_2, \sigma)), & \text{se } \sigma \in \Gamma_1(x_1) \cap \Gamma_2(x_2) \\ (f_1(x_1, \sigma), x_2), & \text{se } \sigma \in \Gamma_1(x_1) \setminus \Sigma_2 \\ (x_1, f_2(x_2, \sigma)), & \text{se } \sigma \in \Gamma_2(x_2) \setminus \Sigma_1 \\ \text{não definido, caso contrário} \end{cases}$$

$$\Gamma_{1 \parallel 2} = [\Gamma_1(x_1) \cap \Gamma_2(x_2)] \cup [\Gamma_1(x_1) \setminus \Sigma_2] \cup [\Gamma_2(x_2) \setminus \Sigma_1].$$

**Exemplo 5** Considere os autômatos  $G_1 = \{X_1, \Sigma_1, f_1, \Gamma_1, x_{0_1}, X_{m_1}\}$  e  $G_2 = \{X_2, \Sigma_2, f_2, \Gamma_2, x_{0_2}, X_{m_2}\}$ , cujos diagramas de transição de estados são ilustrados na figura 2.3 e conjuntos de eventos  $\Sigma_1 = \{a, b, c\}$  e  $\Sigma_2 = \{a, b, d\}$ . Os autômatos resultantes das operações de composição produto  $G_1 \times G_2$  e composição paralela  $G_1 \parallel G_2$  são apresentados em 2.3

## 2.2 Controle Supervisório

Em SEDs, pode ser necessário controlar ou restringir a linguagem gerada pelo sistema para atingir um comportamento desejado. Na teoria de Controle Supervisório, especi-

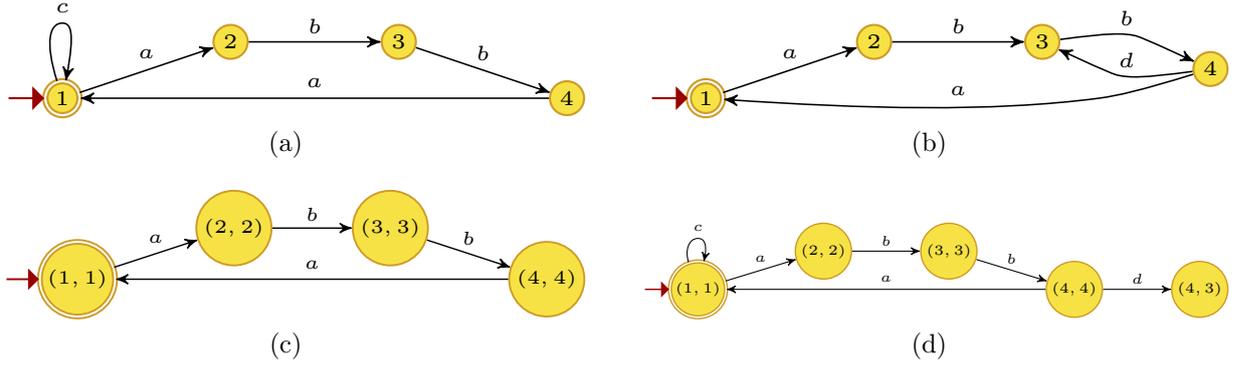


Figura 2.3: Operações com autômatos: (a)  $G_1$ ; (b)  $G_2$ ; (c)  $G_1 \times G_2$ ; (d)  $G_1 \parallel G_2$

ficações são impostas ao sistema para impedi-lo de realizar sequências de eventos indesejados, como, por exemplo, sequências que geram bloqueios. Seja  $G$  o automato que modela o comportamento do sistema, é determinada uma sublinguagem de  $L(G)$ , chamada linguagem admissível, que contém as sequências permitidas pelas especificações. O controle supervisor de SEDs consiste em projetar um supervisor  $S$  que seja capaz de interagir com  $G$  de forma realimentada, como ilustrado na figura 2.4, e fazer o sistema resultante, denotado  $S/G$  (lê-s  $S$  controlando  $G$ ), seja admissível.

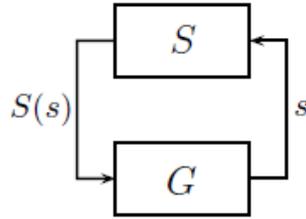


Figura 2.4: Modelo de Controle Supervisor.

Conforme definido em [8], sob a ação de controle de um supervisor  $S$  o novo conjunto de eventos ativos  $\Gamma_N[f(x_0, s)]$ , que poderão ser executados no estado  $f(x_0, s)$  de  $S/G$ , é definido por:

$$\Gamma_N[f(x_0, s)] = \Gamma[f(x_0, s)] \cap S(s),$$

garantindo assim que, ao alcançar o estado  $f(x_0, s)$ , o sistema realimentado não possa executar um evento  $\sigma \notin S(s)$ . A linguagem gerada por  $S/G$  pode ser definida, recursivamente, como:

- (i)  $\varepsilon \in L(S/G)$

$$(ii) \quad s\sigma \in L(S/G) \Leftrightarrow (s \in L(S/G)) \wedge (s\sigma \in L(G)) \wedge (\sigma \in S(s))$$

A linguagem marcada por  $S/G$  é definida como

$$L_m(S/G) := L(S/G) \cap L_m(G).$$

### 2.2.1 Controle Supervisório sob Controlabilidade Parcial

No controle supervisório sob controlabilidade parcial, supõe-se que o conjunto de eventos  $\Sigma$  é particionado como  $\Sigma = \Sigma_c \dot{\cup} \Sigma_{uc}$ , em que,  $\Sigma_c$  é o conjunto de eventos controláveis, ou seja, eventos que podem ser desabilitados pelo supervisor  $S$ , e  $\Sigma_{uc}$  é o conjunto de eventos não controláveis, que não podem ser desabilitados por  $S$ . Um supervisor é dito ser admissível se  $\Sigma_{uc} \cap \Gamma[f(x_0, s)] \subseteq S(s)$  para todo  $s \in L(G)$ . Os supervisores abordados neste trabalho serão todos admissíveis.

**Definição 4 (Controlabilidade)** *Sejam  $K$  e  $L$  duas linguagens definidas sobre um conjunto de eventos  $\Sigma$ , tais que  $K \subseteq L$  e  $L = \bar{L}$ . Suponha que  $\Sigma$  pode ser particionado como  $\Sigma = \Sigma_c \dot{\cup} \Sigma_{uc}$ . Então,  $K$  é controlável em relação a  $L$  e  $\Sigma_{uc}$  se*

$$\bar{K}\Sigma_{uc} \cap L \subseteq \bar{K}.$$

A partir da definição 4, podemos dizer que, se  $K$  for controlável, então, para toda sequência  $s \in \bar{K}$  e todo evento não controlável  $\sigma_{uc} \in \Sigma_{uc}$ , se  $s\sigma_{uc}$  pertencer a  $L$ , então  $s\sigma_{uc}$  também pertencerá a  $\bar{K}$ . Note que a controlabilidade é um propriedade do fecho de prefixo de uma linguagem, ou seja, uma linguagem  $K$  é controlável se e somente se  $\bar{K}$  é controlável.

**Teorema 1 (Teorema da Controlabilidade)** *Dado  $G = (X, \Sigma, f, \Gamma, x_0, X_m)$  em que  $\Sigma_{uc} \subseteq \Sigma$  é o conjunto de eventos não controláveis. Seja  $K \subseteq L(G)$ , em que  $K \neq \emptyset$ . Então, existe um supervisor  $S$  tal que  $L(S/G) = \bar{K}$  se e somente se  $K$  é controlável em relação a  $L(G)$  e  $\Sigma_{uc}$ . Essa condição para  $K$  é chamada de Condição de Controlabilidade.*

Podemos inferir, por meio da definição 4, que a propriedade de controlabilidade é fechada na união de conjuntos, ou seja, se duas linguagens  $K_1$  e  $K_2$  são controláveis então  $K_1 \cup K_2$  também é controlável. Tal comportamento implica que sempre existirá uma sublinguagem controlável suprema de  $K$ , denotada por  $K^{\uparrow C}$ , tal que, pra toda linguagem  $K' \subseteq K$ , se  $K'$  for controlável, então  $K' \subseteq K^{\uparrow C}$ .

## Realização de Superviores

Supondo uma linguagem  $K \subseteq L(G)$  controlável. Pelo Teorema da Controlabilidade 1 sabemos que o supervisor  $S$  definido por

$$S(s) = [E_{uc} \cap \Gamma(f(x_0, s))] \cup \{\sigma \in E_c : s\sigma \in \overline{K}\}$$

resulta em

$$L(S/G) = \overline{K},$$

desconsiderando os casos em que  $\overline{K} = \emptyset$  e  $\overline{K} = L(G)$ . Para obter a realização do supervisor  $S$  basta obter um autômato que marque a linguagem  $\overline{K}$ . Considerando que  $R$  é este autômato

$$R := (Y, E, g, \Gamma_R, y_0, Y)$$

em que  $R$  é *Trim* e

$$L_m(R) = L(R) = \overline{K}.$$

Utilizando a composição paralela de  $R$  e  $G$ , o resultado,  $R \parallel G$  representa exatamente o comportamento desejado do sistema malha fechada  $S/G$ : Uma vez que  $R$  e  $G$  tem o mesmo conjunto de eventos  $E$ , então

$$\begin{aligned} L(R \parallel G) &= L(R) \cap L(G) \\ L(R \parallel G) &= \overline{K} \cap L(G) \\ L(R \parallel G) &= \overline{K} = L(S/G) \end{aligned}$$

e

$$\begin{aligned} L_m(R \parallel G) &= L_m(R) \cap L_m(G) \\ L_m(R \parallel G) &= \overline{K} \cap L_m(G) \\ L_m(R \parallel G) &= L(S/G) \cap L_m(G) = L_m(S/G). \end{aligned}$$

**Exemplo 6** Considere a linguagem  $L_1$  definida sobre o conjunto  $\Sigma_1 = \{a, b, c, d\}$  e gerada pelo autômato  $G_1$  da figura 2.5. Seja  $K_1 = \{\varepsilon, a, ab\}$  definida sob  $\Sigma_1$  e  $\Sigma_1$  particionada como  $\Sigma_1 = \Sigma_{1c} \cup \Sigma_{1uc}$ , em que  $\Sigma_{uc} = \{a, b\}$  é o conjunto de eventos controláveis e  $\Sigma_{1uc} = \{c, d\}$  é o conjunto de eventos não controláveis. Concluí-se que a especificação  $K_1$  não é controlável em relação a  $L_1$  e  $\Sigma_{1uc}$  pois seria necessário desabilitar os eventos  $c$  e  $d$  após a ocorrência das sequências  $ab$  e  $a$  respectivamente, porém estes

eventos não são controláveis. Além disso, pode-se concluir que  $K_1^{\uparrow C} = \{\varepsilon\}$ .

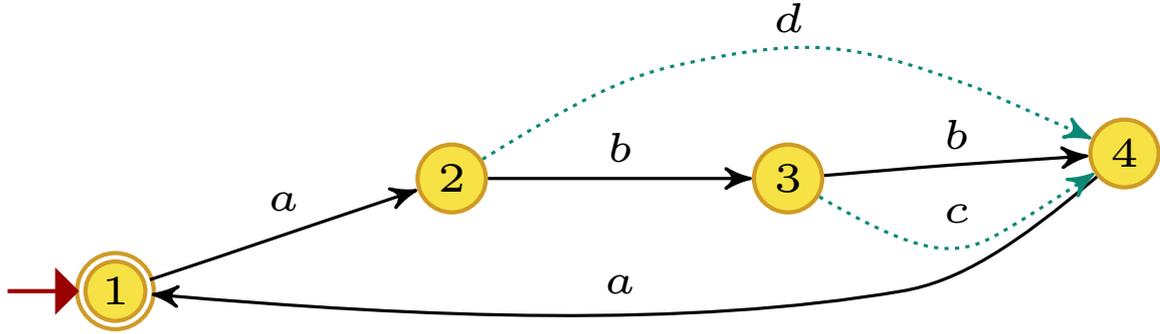


Figura 2.5: Automato  $G_1$  do exemplo 5

### Controle Supervisório Não Bloqueante

Considerando um SED  $S/G$ , ele é bloqueante se

$$L(S/G) \neq \overline{L_m(S/G)}$$

e não bloqueante se

$$L(S/G) = \overline{L_m(S/G)}$$

Considerando o que foi apresentado no teorema da controlabilidade 1, podemos extende-lo para Controle Supervisório Não Bloqueante.

Considere um SED  $G = (X, \Sigma, f, \Gamma, x_0, X_m)$  onde  $\Sigma_{uc} \subseteq \Sigma$  o conjunto de eventos não controláveis. Considere a linguagem  $K \subseteq L_m(G)$ , onde  $K \neq \emptyset$ . Existe um supervisor na bloqueante  $S$  sobre  $G$  tal que  $L_m(S/G) = K$  e  $L(S/G) = \overline{K}$  se e somente se:

$$\begin{aligned} \overline{K}\Sigma_{uc} \cap L(G) &\subseteq \overline{K} \\ K &= \overline{K} \cap L_m(G) \end{aligned}$$

### 2.2.2 Controle Supervisório Desmarcador

Em alguns sistemas pode ser interessante definir um supervisor que consiga agir não só habitando e desabilitando estados mas também alterando a marcação do sistema. Considerando  $D \subseteq L_m(G)$ , podemos definir um supervisor desmarcador  $S_d$  para o par  $(D, G)$  da seguinte forma:

$$L_m(S_d/G) = L(S_d/G) \cap D$$

Podemos interpretar a ação desmarcadora como uma forma de identificar sequencias de eventos, por exemplo desmarcar um certo estado na primeira vez que ocorrer, de forma a apenas marcar tal estado nas ocorrências posteriores.

**Teorema 2** *Dado  $G = (X, \Sigma, f, \Gamma, x_0, X_m)$  em que  $\Sigma_{uc} \subseteq \Sigma$  é o conjunto de eventos não controláveis. Seja  $K_m \subseteq L_m(g)$  em que  $K_m \neq \emptyset$ . Então, existe um supervisor desmarcador  $S_d$  tal que  $L(S_d/G) = K_m$  e  $L_m(S_d/G) = K_m$  se e somente se  $K$  é controlável em relação a  $L(G)$  e  $\Sigma_{uc}$*

## 2.3 Controle Supervisório Modular

Alguns SEDs apresentam características de modularidade que podem ser exploradas para gerar modelagens mais simples e menos complexas computacionalmente, além de facilitarem a análise do sistema completo a partir de partes do SED.

Conforme descrito em [8], um cenário comumente encontrado em aplicações de SEDs é o crescimento exponencial no espaço de estados do sistema devido à composição paralela de seus componentes. Além disso, em muitos casos, as especificações se tornam muito complexas e envolvem a composição de especificações elementares. Neste cenário a modularidade dos sistemas pode ser explorada para evitar a geração de uma única e complexa especificação gerando, ao invés disso, um conjunto de especificações mais simples.

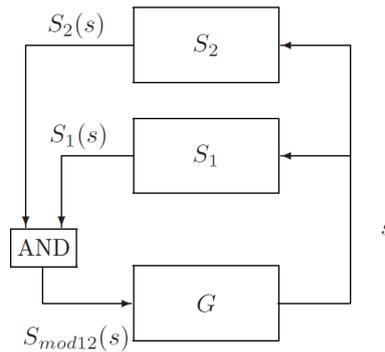


Figura 2.6: Controle supervisório modular com dois supervisores.

No sistema exibido na figura 2.6, dados os supervisores admissíveis  $S_1$  e  $S_2$  definidos para a planta  $G$ , o supervisor modular  $S_{mod12} : L(G) \rightarrow 2^\Sigma$ , correspondente a composição

de  $S_1$  e  $S_2$ , é definido da seguinte forma:

$$S_{mod12}(s) := S_1(s) \cap S_2(s).$$

Isso significa que um evento será habilitado por  $S_{mod12}$  se e somente se ambos,  $S_1$  e  $S_2$ , habilitarem esse evento, em outras palavras, basta um dos supervisores desabilitar o evento para que esse esteja desabilitado pelo controle modular.

$$\begin{aligned} L(S_{mod12}/G) &= L(S_1/G) \cap L(S_2/G) \\ L_m(S_{mod12}/G) &= L_m(S_1/G) \cap L_m(S_2/G) \end{aligned}$$

Dadas as realizações  $R_1$  e  $R_2$  de  $S_1$  e  $S_2$  respectivamente, a realização de  $S_{mod12}$  pode ser obtida por  $R = R_1 \times R_2$ . Entretanto não desejamos calcular essa realização e sim utilizar  $R_1$  e  $R_2$  e realizar o controle  $S_{mod12}(s)$  pela interseção do conjunto de eventos ativos de  $R_1$  e  $R_2$  após a execução de  $s$ , de acordo com a figura 2.6, dessa forma é gerada a Realização modular do supervisor modular  $S_{mod12}$ . Dessa forma é possível obter reduções na complexidade da realização. Considerando que  $R_1$  tenha  $n_1$  estados e  $R_2$  tenha  $n_2$  estados, só serão necessários  $n_1 + n_2$  estados para a realização modular ao invés de possivelmente  $n_1 n_2$  estados caso  $R = R_1 \times R_2$  seja considerado. Podemos interpretar a supervisão  $S_{mod12}$  sobre  $G$  como a composição paralela  $R_1 \parallel R_2 \parallel G$  conforme visto em no exemplo 2.3.

Seja  $L_a = L_{a1} \cap L_{a2}$ , com  $L_{a1}$  e  $L_{a2}$  prefixo fechadas, podemos obter  $S_i$  para  $L_{ai}^{\uparrow C}$ ,  $i = 1, 2$ , e utilizar a composição destes supervisores, ao invés de realizar o cálculo completo de  $L_a^{\uparrow C}$ . Usando a abordagem modular, a complexidade computacional de pior caso para sintetizar o supervisor é reduzida de  $O(n_1 n_2 m)$  para  $O(\max(n_1, n_2) m)$ . Essa abordagem é válida porque a seguinte equação é verdadeira para linguagens prefixo fechadas:

$$(K_1 \cap K_2)^{\uparrow C} = K_1^{\uparrow C} \cap K_2^{\uparrow C}$$

No caso em que  $L_{a1}$  e  $L_{a2}$  não são prefixo fechadas, devemos analisar ainda se o supervisor modular realizado é um supervisor não bloqueante.

**Proposição 1 (Supervisor modular não bloqueante)** *Seja  $S_i, i = 1, 2$ , dois supervisores não bloqueantes em  $G$ . Então  $S_{mod12}$  é não bloqueante se e somente se  $L_m(S_1/G)$  e  $L_m(S_2/G)$  são linguagens não conflitantes, ou seja, se e somente se*

$$\overline{L_m(S_1/G) \cap L_m(S_2/G)} = \overline{L_m(S_1/G)} \cap \overline{L_m(S_2/G)}$$

## Capítulo 3

# Modelagem de Fundos de Investimento por Sistemas a Eventos Discretos

Neste capítulo será apresentada a modelagem do processo de cálculo de cota de fundos de investimentos. Na seção 3.1, serão apresentados os conceitos teóricos de fundos de investimento relacionados à natureza do projeto realizado neste trabalho. Na seção 3.2, será proposto um modelo a eventos discretos, com estrutura modular, para o processo de cálculo de cotas de fundos de investimento, no qual cada etapa desse processo é representada, sucintamente, por um autômato.

### 3.1 Conceitos Fundamentais de Fundos de Investimento

Na subseção 3.1.1, é apresentada a definição de Fundo de Investimento e sua base regulatória. Em sequência, na subseção 3.1.2, são apresentados alguns dos principais conceitos relacionados a fundos de investimento, além das atribuições dos seus prestadores de serviço. Posteriormente, na subseção 3.1.2, são apresentadas as principais características de um fundo de investimento, com foco nas que serão relevantes no desenvolvimento do projeto proposto nesse trabalho. Na subseção 3.1.3, serão apresentados alguns dos controles que devem ser observados em um fundo de investimento, novamente, focando naqueles relevantes ao projeto visando demonstrar a necessidade da solução proposta que será proposta em seguida, na seção 3.2.

### 3.1.1 Definição

Um fundo de investimento (Fundo), conforme definido em [3], é um veículo de investimento coletivo, formado sob a forma de um condomínio, pela comunhão de recursos de uma ou mais pessoas físicas e jurídicas com mesmos objetivos de investimento. Cada fundo tem seu próprio regulamento, no qual são especificadas suas regras gerais de funcionamento, como por exemplo, os prazos de liquidação de movimentações, as classes de ativos que o fundo poderá investir, o tipo de público a que se destina e quaisquer outras particularidades que sejam definidas para o fundo, contanto que respeitem as limitações impostas pelos órgãos reguladores.

No Brasil a Comissão de Valores Mobiliários (CVM) é a responsável pela elaboração e fiscalização das regras que regem o funcionamento de fundos de investimento. A CVM, conforme descrita em [15], é uma entidade autárquica, em regime especial, vinculada ao Ministério da Fazenda, criada pela Lei nº 6.385, de 07 de dezembro de 1976, com a finalidade de disciplinar, fiscalizar e desenvolver o mercado de valores mobiliários. Dentre os valores mobiliários aos quais compete à CVM fiscalizar, estão os Fundos de Investimento.

Uma das formas da CVM exercer suas responsabilidades é a publicação instruções normativas para regular os mercados. Existem algumas normativas, elaboradas pela CVM, que dispõem sobre fundos de investimento, porém a normativa mais importante para o trabalho que será tratado aqui, é a Instrução Normativa da Comissão de Valores Mobiliários Número 555 (ICVM 555) [3], de 17 de dezembro de 2014. Esta normativa abrange a constituição, administração, funcionamento e a divulgação das informações de Fundos de investimentos além de abordar os principais pontos que devem considerados no cálculo da cota de um fundo de investimento.

Alguns exemplos de fundos de investimento ativos hoje que seguem a ICVM555[3] são o ALASKA BLACK INSTITUCIONAL FUNDO DE INVESTIMENTO DE ACOES (CNPJ: 26.673.556/0001-32) que é um fundo de cálculo de cota de fechamento, conforme descrito na sua Lâmina de Informações Essenciais [16], e o BTG PACTUAL DIGITAL TESOURO SELIC SIMPLES FUNDO DE INVESTIMENTO RENDA FIXA (CNPJ: 29.562.673/0001-17) que é um fundo de cálculo de cota de abertura conforme descrito na sua Lâmina de Informações Essenciais [17].

### 3.1.2 Conceitos Gerais

#### Cotistas do fundo de investimento

Em um Fundo de Investimento cada um dos integrantes deste condomínio é titular de uma quantidade de Cotas proporcionais a sua fração ideal do Patrimônio Líquido (PL) do Fundo. O titular das Cotas do fundo é chamado de Cotista do Fundo. Segundo a ICVM 555 [3], cotista é aquele que detém cotas de um fundo de investimento.

#### Patrimônio Líquido

O Patrimônio Líquido (PL) de um Fundo conforme descrito na ICVM 555 [3], é a diferença entre o total do ativo realizável e do passivo exigível, que, em outras palavras, é o valor financeiro total pertencente ao Fundo. O valor do patrimônio líquido de um fundo é obtido da seguinte forma:

$$PL = A + R + C - P, \quad (3.1)$$

em que  $A$  é a soma dos valores financeiros e mobiliários,  $R$  é o montante de valores financeiros a receber,  $C$  é o valor financeiro disponível em caixa e  $P$  é o montante de valores financeiros a pagar.

**Exemplo 7** *Considerando um fundo de investimento que em um determinado dia tem R\$1.000.000,00 em ações, R\$2.000,00 em valores a receber de venda de ativos, R\$10.000,00 em caixa e R\$1.000,00 em despesas de auditoria a pagar, podemos calcular seu Patrimônio Líquido da seguinte forma*

$$PL = 1.000.000,00 + 2.000,00 + 10.000,00 - 1.000,00$$

$$PL = 1.011.000,00$$

#### Cota

O saldo de Cotas de um Fundo é a quantidade total de cotas emitidas deste fundo em um dado momento. Para fundos de condomínio fechado, denominados fundo fechados, o Saldo de Cotas é fixo. Por outro lado, em fundos de condomínio aberto, denominados fundos abertos, novas cotas são emitidas no momento de uma aplicação, em quantidade proporcional a fração ideal do valor financeiro desta aplicação em relação ao PL do

fundo. Em fundos abertos, no momento do resgate, as cotas referentes a esse resgate são canceladas e o valor financeiro, proporcional a estas cotas, é retirado do PL do Fundo e repassado ao cotista que detinha essas cotas.

O valor da Cota em um dia de apuração é resultante da divisão do Patrimônio Líquido do Fundo pelo Saldo de Cotas, sendo calculado pela seguinte equação:

$$Cota_j = \frac{PL_j}{\sum_{i=0}^n Q_{i,j}}, \quad (3.2)$$

em que,  $Q_{i,j}$  é a quantidade total de cotas do Cotista  $i$  no dia  $j$ ,  $PL_j$  é o PL do fundo no dia de apuração representado por  $j$  e  $n$  o número total de Cotistas.

### Prestadores de Serviço

De acordo com a ICVM555 [3] o fundo necessita contratar prestadores de serviço que são responsáveis por prestar serviços específicos ao Fundo. Na tabela 3.1 estão listados os principais prestadores, juntamente com a descrição dos seus serviços prestados ao fundo.

Tabela 3.1: Principais prestadores de serviço de um fundo de investimento e descrição de suas funções.

| Prestador            | Responsabilidade                           |
|----------------------|--|
| Administrador        | Funcionamento e manutenção do fundo        |
| Auditor Independente | Auditoria dos registros Contábeis do fundo |
| Custodiante          | Custódia dos ativos do fundo               |
| Distribuidor         | Distribuição de cotas do fundo             |
| Gestor               | Gestão da carteira de ativos do fundo      |

Dentre as atribuições do Administrador, encontra-se a obrigação do Cálculo e divulgação da Cota, assim como, o cálculo e a divulgação da quantidade de cotas dos cotistas do Fundo, também conhecida como posição do cotista. Para realização desses procedimentos, é necessário colher, junto aos prestadores do Fundo, informações relativas a posição de ativos da carteira do Fundo, calcular as Taxas e Despesas devidas no dia, e coletar informações sobre saldo, aquisições e resgates de cotas dos cotistas. Após a obtenção destes dados, é necessário realizar processamento para obter os resultados necessários para a divulgação de valor da cota do fundo, quantidade total de cotas, quantidade de cotas por cotista, rentabilidade diária etc.

A forma de processamento dos dados é livre ao Administrador, porém existem regulamentações sobre como devem ser considerados os valores e posições de ativos, assim como taxas, despesas, impostos e a forma que deve ser calculada a cota e controlada a posição

dos Cotistas. Leitores interessados em uma descrição detalhada dessas regulamentações podem encontrá-las na ICVM555 [3].

### Classificação de Fundos de Investimento

A classificação de um Fundo é uma característica obrigatória indicativa do principal fator de risco da Carteira do Fundo. Na tabela 3.2 estão listadas as classificações definidas na ICVM555 [3].

Tabela 3.2: Classificações de Fundos de Investimento conforme definidas na ICVM555.

| Classificação | Principais fatores de risco da carteira  |
|---------------|--|
| Renda Fixa    | Varição da Taxa de juros, de índice de preços, ou ambos  |
| Ações         | Varição de preços de ações admitidas à negociação no mercado organizado  |
| Cambial       | Varição de preços de moeda estrangeira ou a variação do cupom cambial  |
| Multimercado  | Vários fatores de risco, sem o compromisso de concentração em nenhum fator em especial ou em fatores diferentes das demais classes |

### Fundos de Abertura e Fechamento

Existem duas formas de Cálculo de Cota de fundos, quais sejam: Cota de Abertura e Cota de Fechamento.

Tabela 3.3: Características das Cotas de Abertura e Fechamento.

| Tipo               | Característica  |
|--------------------|---|
| Cota de Abertura   | A cota é calculada e divulgada na abertura dos mercados em que o fundo atua   |
| Cota de Fechamento | A cota é calculada e divulgada no fechamento dos mercados em que o fundo atua |

Conforme descrito na tabela 3.3 fundos que utilizam no processamento das movimentações a Cota de Abertura do dia da movimentação são conhecidos como Fundos de Abertura, enquanto os Fundos que utilizam a Cota de Fechamento são conhecidos como Fundos de Fechamento.

Os Fundos de Abertura oferecem ao cotista o diferencial de poderem realizar operações de aquisições e resgates completas em um mesmo dia, diferentemente dos Fundos de Fechamento que precisam que os mercados que atuam estejam fechados para realizar a efetivação e, com isso, levam pelo menos um dia completo para completar uma aquisição ou resgate. Para possibilitar aos Fundos de Abertura essa flexibilidade em suas operações, o processo de Cálculo de Cotas destes Fundos ocorre de maneira ligeiramente diferente como veremos na seção 3.2.

### **3.1.3 Automação de serviço de fundos de investimento**

Conforme visto na tabela 3.1, o Gestor é o prestador de serviços responsável pela gestão da carteira de ativos do fundo. A Gestão de Ativos da carteira de um Fundo é a aplicação do Patrimônio do Fundo em Títulos e Ativos Mobiliários, expondo-se aos riscos específicos definidos em regulamento e visando manter em linha com a classificação do Fundo. A utilização de técnicas de automação e Inteligência Artificial para tomada de decisões e Controle dos riscos nos Investimentos já esta bastante em voga nessa área [4], [5], [7], [6].

Por sua vez, dentre os serviços prestados pelo administrador do fundo, está o controle de Passivo. O Controle de Passivo de um Fundo é o controle das posições de cada cotista no Fundo. Tal controle é essencial no cálculo da cota do fundo, dos rendimentos e recolhimento de Taxas e Impostos. Dependendo das características do Fundo, o valor da cota do fundo, juntamente com outros dados devem ser enviados periodicamente ao órgão regulador (CVM). Caso alguma dessas informações não seja divulgado dentro do prazo estabelecido ou caso os dados não estejam corretos o administrador do fundo pode arcar com consequências que variam de avisos e ofícios, multas e vedações, chegando até a proibição da execução da função de Administrador de Fundos junto a CVM.

Embora envolva cálculos com grandes volumes de dados, essa área ainda é carente da utilização de técnicas de automação. Além disso, o fato do controle de passivos possuir regras bem definidas, torna-o um ótimo candidato a aplicação de novas técnicas e soluções baseadas em automação. Com o objetivo de explorar essa necessidade, um modelo a eventos discretos será proposto, no decorrer deste capítulo, para o cálculo de cotas de fundos de investimento.

## **3.2 Modelagem do Cálculo de Cotas de Fundos de Investimento**

Um fundo de Investimento pode ser enxergado como um conjunto de processos individuais organizados de forma a obter um resultado comum. Analisando dessa forma, um fundo se enquadra bem no conceito de sistema enunciado no capítulo 2 sendo essa uma das motivações para a aplicação da teoria de sistemas a fundos de Investimento.

O controle de execução dos processos necessários ao processamento diário do Fundo

de Investimento é usualmente chamado de Processo de Cálculo da Cota do Fundo de Investimento, uma vez que tem como principais resultados os valores do Patrimônio Líquido e da Cota do Fundo, ambos descritos na subseção 3.1.2. Estes resultados devem ser obtidos periodicamente seguindo as características do fundo. Em suma o cálculo de cotas de um Fundo é o agrupamento coordenado de procedimentos específicos, como, por exemplo, a importação e a liquidação de movimentações e o processo de valorização de ativos. Devido à grande quantidade de dados processados em cada um desses procedimentos, as suas execuções, normalmente, já são automatizadas. No entanto, uma vez garantido o correto funcionamento de cada um dos procedimentos, ainda é necessário realizar um controle em um nível superior para garantir a execução deles na ordem correta. Atualmente, muitas empresas administradoras de fundos ainda utilizam operadores humanos para gerenciar a execução dos procedimentos do cálculo de cotas. Com isso em mente, pretende-se propor um modelo para o cálculo de cotas que possa ser usado na automatização do gerenciamento da execução dos procedimentos envolvidos nesse cálculo, supondo que a execução individual de cada procedimento já se encontra automatizada. Portanto, a lógica interna de cada processo será abstraída, possibilitando a utilização de plantas simples e compactas para modelar cada um dos processos. Tal abstração não causa perda de generalidade ou qualquer tipo de desvio do processo, pois a lógica interna de cada processo pode ser adicionada posteriormente. Uma característica vantajosa dessa abordagem é facilitar a posterior adaptação desta solução para distintos fluxos de processamento, podendo se adequar as especificidades de outros tipos de Fundos de Investimento.

Todos os processos envolvidos no cálculo da Cota de um Fundo serão descritos nas subseções a seguir, nas quais os processos serão representados por modelos a eventos discretos, mais especificamente, autômatos. As informações sobre os processos, como por exemplo, em qual estado devem ocorrer e a sua ordenação, que serão apresentados nas subseções a seguir, foram modelados baseados no conhecimento do funcionamento de fundos de investimento e em como seu processamento deve ocorrer, para obter os resultados necessários para cada tipo de fundo. Vale ressaltar que embora algumas tais informações não sejam utilizadas na elaboração dos modelos para esses processos, elas serão úteis na definição das especificações de controle, no capítulo 4. Todos processos foram modelados computacionalmente na plataforma de modelagem de sistemas a eventos discretos, *DESLab* [18, 19]. Manuais e exemplos da utilização do *DESLab* podem ser encontrados em [20, 21]. Nos autômatos ilustrados nesse capítulo, as transições rotuladas por eventos não controláveis são representadas por linhas pontilhadas.

### 3.2.1 Processos de Abertura e de Apuração de Cota

A abertura é o processo no qual se atualiza a data do fundo para a próxima data de processamento do fundo, respeitando sua regra de calendário definida em regulamento. Além disso, o processo de abertura também modifica o estado do fundo para ABERTO. Este é um dos principais gatilhos para a execução de outros processos, tendo papel importantíssimo na modelagem do comportamento esperado do sistema. Em fundos de fechamento, após a realização da Abertura, ou seja, quando o fundo está no estado ABERTO, é possibilitada a execução dos processos de Cálculo de Exigibilidades (subseção 3.2.2), Valorização de Ativos (subseção 3.2.6), Importação de Movimentações (subseção 3.2.3) e Atualização de Interfaces (subseção 3.2.7). Em fundos de abertura, a abertura do fundo possibilita a execução dos processos de Valorização de Ativos (subseção 3.2.6) e Cálculo de Exigibilidades (subseção 3.2.2).

No processo de apuração de cota é realizado o cálculo do valor da Cota do Fundo de Investimento. Além disso, também é modificado o estado do fundo de ABERTO para CALCULADO, este processo assim como o de Abertura também é um gatilho importante para outros processos. Em fundos de Fechamento, o processo de apuração de cota habilita os processos de Efetivação (subseção 3.2.9) e Atualização de Interfaces (subseção 3.2.7). Em fundos de Abertura são habilitados os processos de Importação de Movimentações (subseção 3.2.3), Atualização de Interfaces (subseção 3.2.7) e Valorização de Ativos (subseção 3.2.6).

O autômato  $G_1$ , que modela os processos de Abertura e Apuração de Cota, é apresentado na figura 3.1. Os eventos  $iAbertura$  e  $fAbertura$  representam o início e o fim do processo de abertura, respectivamente. Por sua vez, os eventos  $iCalculo$  e  $fCalculo$  representam, respectivamente, o início e o fim do processo de apuração de cotas. Note que o estado inicial de  $G_1$  é o estado ABERTO do fundo, o qual também é atingido após o evento de fim do processo de abertura ( $fAbertura$ ). Por sua vez, o estado CALCULADO do fundo é atingido após o evento de fim do processo de apuração de cota ( $fCalculo$ ).



Figura 3.1: Autômato  $G_1$ , que modela os processos de Abertura e Cálculo de Cota.

### 3.2.2 Processo de Cálculo de Exigibilidades

O cálculo de Exigibilidades é o processo no qual são calculadas e provisionadas todas as taxas que incidem sobre o fundo, as principais e mais comuns dessas são a Taxa de Administração, a Taxa de Custódia e a Taxa de Performance. Essas taxas são específicas de cada um fundo podendo até mesmo não existir para um dado fundo. Há regulamentações que definem diretrizes gerais para forma de cálculo e cobrança, periodicidade e outras características.

Em geral, as Taxas de Administração e Custódia são baseadas no PL do Fundo, expressas em percentual anual, provisionadas diariamente, pagas mensalmente e no momento do Resgate. Ou seja, todos os dias é calculado e provisionado o valor devido naquele dia, baseado no percentual anual. Mensalmente o valor total desse provisionamento é pago. Diferentemente, a Taxa de Performance, também conhecida como Prêmio, é calculada utilizando-se a metodologia da linha d'água e, na maior parte dos casos é calculada individualmente por aquisição. A taxa de Performance é paga semestralmente, quando a nova linha d'água é ajustada caso seja o caso tenha havido performance ou no momento do resgate.

Tanto nos fundos de Abertura quanto nos fundos de Fechamento o Cálculo de Exigibilidades é realizado com o Fundo em estado ABERTO. O Processo de Cálculo de Exigibilidades é um dos necessários para a liberação do Processo de Validação (subseção 3.2.8).

O autômato  $G_2$ , que modela o processo de Cálculo de Exigibilidades, é apresentado na figura 3.2. Os eventos  $iExigibilidade$  e  $fExigibilidade$  representam o início e o fim do processo de Cálculo de Exigibilidades.

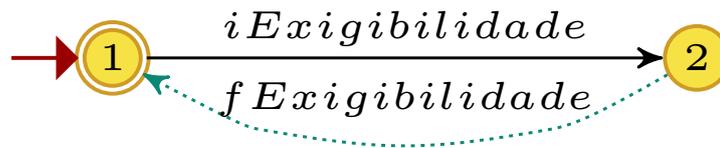


Figura 3.2: Autômato  $G_2$ , que modela o processo de Cálculo de Exigibilidades.

### 3.2.3 Processo de Importação de Movimentações

A importação de movimentações é o processo no qual todas as solicitações de movimentações, realizadas em um fundo na data de processamento, são recebidas pelo fundo e

diferenciadas como aquisição ou resgate. Um dos resultados deste processo é a incorporação das movimentações ao histórico de movimentações do Fundo. Após a importação, algumas características das movimentações são então, identificadas de acordo com a regra de cada fundo, quais sejam: as datas de Efetivação (subseção 3.2.9), Liquidação (subseção 3.2.4) e Impacto Financeiro (subseção 3.2.5). Além disso, outra característica é a forma que a movimentação foi realizada. Aquisições de modo geral são realizadas por financeiro, porém no caso de resgates estes podem ser realizados por financeiro, por quantidade de cotas ou total de cotas do fundo. Outra característica dos resgates é se o valor solicitado é Líquido ou Bruto. Essas diferenças são essenciais na lógica interna do Processo de Efetivação de Movimentações (subseção 3.2.9) no qual cada um desses casos é processado de forma diferenciada. Também são gerados nesse processo as solicitações de Impacto das Aquisições, que serão processados no Processo de Impacto de Movimentações (subseção 3.2.5).

Múltiplas movimentações podem ser importadas de uma única vez e todas as movimentações da data processada devem ser importadas. Para fundos de Fechamento a importação de movimentações é realizado com o fundo no estado ABERTO, enquanto que, para fundos de abertura a importação de movimentações deve ocorrer com o fundo no estado CALCULADO. A finalização deste processo libera a execução do processo de Liquidação de Movimentações (subseção 3.2.4) para ambos os tipos de fundo.

O autômato  $G_3$ , que modela o processo de importação de movimentações, é apresentado na figura 3.3. Os eventos  $iImportacao$  e  $fImportacao$  representam o início e o fim do processo de importação de movimentações respectivamente.

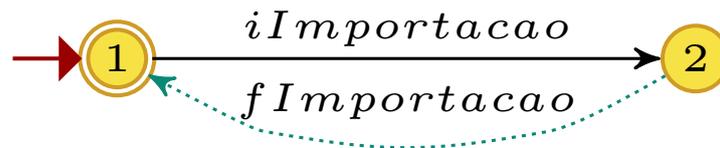


Figura 3.3: Autômato  $G_3$ , que modela o processo de importação de movimentações.

### 3.2.4 Processo de Liquidação de Movimentações

A liquidação de movimentações é o processo no qual o valor financeiro das movimentações é liquidado sendo, então, incorporado ou desincorporado do Patrimônio do fundo. O valor financeiro movimentado passa a fazer parte da carteira de ativos, na forma dos ativos de "A Efetivar Aquisições" e "A Impactar Resgates", pois esse valor financeiro já

está destinado a honrar com as movimentações solicitadas pelos cotistas, e será utilizado no momento da Efetivação das aquisições ou do Impacto dos resgates. Tal processo é necessário para manter a relação Ativo x Passivo no Fundo, ou seja, modificado o valor do passivo deve-se existir uma contraparte no ativo.

Múltiplas movimentações podem ser liquidadas de uma única vez e o processo de liquidação deve ocorrer após cada processo de Importação (subseção 3.2.3), para tratar as movimentações importadas. Para fundos de fechamento a liquidação deve ser realizada com o fundo ABERTO e para fundos de abertura ela é efetuada com o fundo CALCULADO. A finalização deste processo libera a execução do processo de Impacto Financeiro (subseção 3.2.5) para ambos os tipos de fundos.

O autômato  $G_4$ , que modela o processo de liquidação de movimentações, é apresentado na figura 3.4. Os eventos  $iLiquidacao$  e  $fLiquidacao$  representam o início e o fim do processo de liquidação de movimentações respectivamente.

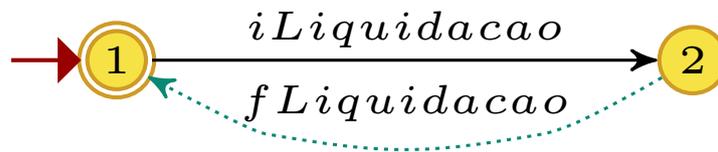


Figura 3.4: Autômato  $G_4$ , que modela o processo de liquidação de movimentações.

### 3.2.5 Processo de Impacto de Movimentações

O impacto das movimentações é o processo no qual são realizados os impactos financeiros referentes as movimentações da data que está sendo processada. Cada movimentação gera dois ou mais impactos financeiros, dependendo da sua natureza, tais impactos são definidos no processo de Efetivação (subseção 3.2.9). Nas movimentações de aquisição as solicitações de impacto ocorrem no Processo de Importação de Movimentações (subseção 3.2.3) e em geral, os impactos gerados são o débito do valor financeiro na conta do cotista e o seu crédito na conta do fundo. Nas movimentações de resgates, em geral, o número de impactos varia entre dois e seis, conforme definido no processo de Efetivação. Dois impactos que sempre estão presentes nas movimentações de resgate, são o débito do valor financeiro na conta do fundo e o seu crédito na conta do cotista. Outros impactos que podem existir são referentes ao recolhimento do imposto de renda (IR) e do Imposto sobre Operação Financeira (IOF). Nesse casos são realizados débitos na conta do fundo e créditos na conta do administrador do fundo o qual é o responsável pelo recolhimento

na fonte, de IR e IOF dos cotistas para os fundos sob sua administração. No processo de impacto de movimentações de resgate também é retirado o ativo "*A Impactar Resgates*", criado em no processo de liquidações de movimentações para compensar o impacto dos resgates no PL de fundo.

Múltiplas movimentações podem ser impactadas de uma única vez e o processo deve ser repetido após cada nova Liquidação de movimentações. Para fundos de fechamento o impacto das movimentações deve ser realizado com o fundo ABERTO e, para fundos de abertura ele deve ser executado com o fundo CALCULADO. A finalização deste processo libera a execução do processo de Efetivação (subseção 3.2.9) no caso de fundos de abertura, e é necessária para inicialização do Processo de Validação (subseção 3.2.8) em fundos de fechamento.

O autômato  $G_5$ , que modela o processo de impacto de movimentações, é apresentado na figura 3.5. Os eventos  $iImpacto$  e  $fImpacto$  representam o início e o fim do processo de impacto de movimentações respectivamente.

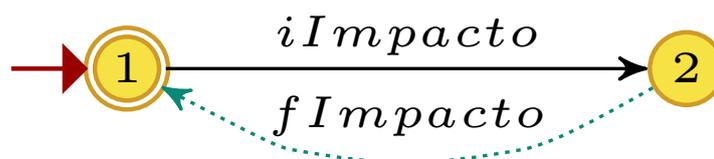


Figura 3.5: Autômato  $G_5$ , que modela o processo de impacto de movimentações.

### 3.2.6 Processo de Valorização de Ativos

No processo de Valorização de Ativos é feita a busca de todas as operações e posições de ativos do fundo em questão na data de processamento. Adicionalmente, é realizada a precificação dos ativos que compõe a carteira de ativos do fundo, para considerar os novos preços de fechamento da data sendo processada, no caso dos fundos de abertura, estes somente podem investir em ativos pouco voláteis com precificação previsível. Por exemplo, se um fundo tem uma ação na sua carteira, o preço dessa ação é atualizado conforme o preço de fechamento desta ação na bolsa em que esta ação é negociada. As mudança de posições e preços dos ativos são os principais componentes responsáveis pela variação na cota do fundo, afetando diretamente a rentabilidade.

Para fundos de fechamento a valorização dos ativos deve ser realizada com o fundo ABERTO e, para fundos de abertura ela deve ser realizada tanto com o fundo ABERTO quanto com o fundo CALCULADO. A finalização do processo de valorização de ativos

em fundos de fechamento e em fundos de abertura em ABERTO, é necessária para a inicialização do processo de Validação (subseção 3.2.8). Por sua vez, a valorização dos ativos em um fundo de abertura no estado CALCULADO é necessária para a inicialização do processo de Interface (subseção 3.2.7).

O autômato  $G_6$ , que modela o processo de Valorização de Ativos, é apresentado na figura 3.6. Os eventos  $iValorizacao$  e  $fValorizacao$  representam o início e o fim do processo de Valorização de Ativos respectivamente.

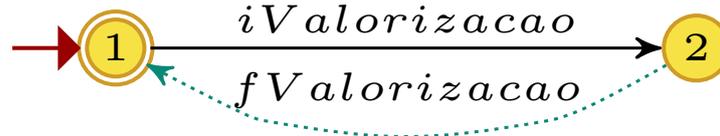


Figura 3.6: Autômato  $G_6$ , que modela o processo de Valorização de Ativos.

### 3.2.7 Processo de Atualização de Interfaces

No processo de Atualização de Interfaces é informado a outros sistemas, tanto internos ao administrador quanto do mercado financeiro em geral, incluindo órgãos reguladores, os resultados do processamento do fundo, dos quais as principais informações são: o PL do fundo, o valor da cota, o saldo de cotas, a quantidade de cotistas, os cotistas do fundo, os ativos da carteira e as taxas cobradas do fundo. Vale ressaltar que em relação as informações referentes aos cotistas do fundo, existem restrições ligadas ao sigilo bancário. Quanto aos ativos da carteira, o Gestor do fundo, afim de proteger sua estratégia de investimento, pode solicitar a omissão de ativos da composição da carteira do fundo por um período definido pela CVM. Para fundos de abertura e fechamento este processo ocorre no estado CALCULADO após a execução de todos os outros processos e sua finalização libera o processo de Abertura (subseção 3.2.1).

O autômato  $G_7$ , que modela o processo de Atualização de Interfaces, é apresentado na figura 3.7. Os eventos  $iInterface$  e  $fInterface$  representam o início e o fim do processo de Atualização de Interfaces respectivamente.

### 3.2.8 Processo de Validação

O processo de validação realiza cálculos para verificar se os resultados obtidos para o fundo, na data analisada estão condizentes com os dados recebidos e o histórico

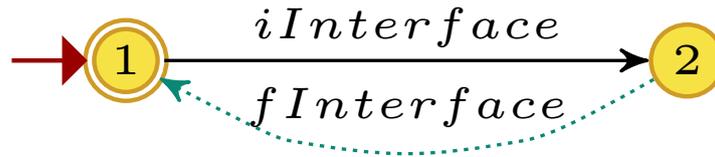


Figura 3.7: Autômato  $G_7$ , que modela o processo de Atualização de Interfaces.

destas variáveis do fundo. Os valores de PL, o valor da Cota e a Rentabilidade diária são comparados ao histórico recente do fundo. Caso o fundo passe na validação, ele segue o restante do processo. Caso contrário, é necessária intervenção manual no fundo, para verificar manualmente as variações e validá-las, ou corrigir algum dado que, eventualmente, esteja errado. Para ambos os tipos de fundos, de abertura e de fechamento, o processo de validação ocorre no estado ABERTO e sua finalização libera o Processo de Calculo (subseção 3.2.1).

O autômato  $G_8$ , que modela o processo de validação, é apresentado na figura 3.8. Os eventos  $iValidação$  e  $fValidação$  representam o início e o fim do processo de validação respectivamente.

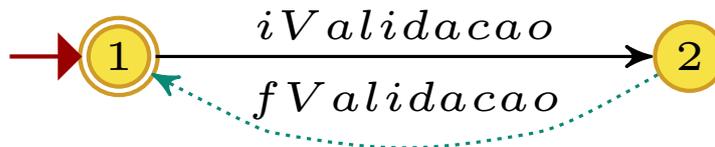


Figura 3.8: Autômato  $G_8$ , que modela o processo de validação.

A intervenção manual não foi explicitamente modelada no autômato  $G_7$ , pois foi considerada como uma ação interna ao processo de validação, conforme descrito na seção 3.2.

### 3.2.9 Processo de Efetivação de Movimentações

Para movimentações de aquisição a efetivar na data processada, o processo de Efetivação de Movimentações, também chamado de Processo de Cotização, é responsável por fazer a conversão do Financeiro em Quantidade de Cotas. No caso de movimentações de resgate, o processo de efetivação faz a operação oposta, convertendo quantidade de cotas em financeiro. Em geral, as movimentações podem ser solicitadas de duas formas, por quantidade de cotas ou por financeiro. Em movimentações por Financeiro, a quantidade de cotas é calculada dividindo-se o Financeiro solicitado pelo valor da cota na data

de processamento. Movimentações por Quantidade de cotas são realizados de forma semelhante, porém a quantidade de cotas já é definida no momento da solicitação.

Durante o processo de efetivação, as aquisições são integradas ao fundo pela emissão da quantidade de cotas calculada e o ativo "*A Efetivar Aquisições*", criado no Processo de Liquidação de Movimentações (subseção 3.2.4), pode ser removido, pois o financeiro adicionado ao PL tem como contrapartida as cotas emitidas. Em movimentações de resgate, é necessário, ainda, calcular o Imposto de Renda (IR) e o Imposto sobre Operações Financeiras (IOF) devido, que podem variar conforme o tipo fundo e a classe do cotista. Uma vez calculados o IR e IOF devido, é necessário avaliar se o resgate é Bruto ou Líquido. Em resgates Líquidos, o Financeiro equivalente á Quantidade solicitada pelo cotista deve ser creditado integralmente em sua conta e, portanto, a quantidade de cotas resgatada é calculada considerando a incidência de IR e IOF. Em resgates Brutos os valores do IR e IOF são descontados diretamente da quantidade solicitada. A quantidade de cotas correspondente é, então, cancelada do saldo de cotas do Cotista solicitante. Também são calculados, nesses momento, as taxas de Administração e Performance devidas pelos resgates efetivados. Posteriormente são geradas as solicitações de Impacto do Resgate, IR e IOF. Para fundos de abertura e fechamento o processo de efetivação de movimentações ocorre no estado CALCULADO e sua finalização é necessária o Processo de Atualização de Interface (subseção 3.2.7).

O autômato  $G_9$ , que modela o processo de Efetivação de Movimentações, é apresentado na figura 3.9. Os eventos  $iEfetivacao$  e  $fEfetivacao$  representam o início e o fim do processo de Efetivação de Movimentações respectivamente.



Figura 3.9: Autômato  $G_9$ , que modela o processo de Efetivação de Movimentações.

### 3.2.10 Período de solicitação de movimentações

Além das plantas  $G_1$  a  $G_9$ , que descrevem os processos envolvidos no cálculo da cota do fundo, também é necessário levar em consideração no modelo o período de solicitação de movimentações do fundo, isto é, o período durante o qual um cotista pode solicitar aquisições ou resgates de cotas do fundo. Esse comportamento é modelado pelo autômato

$G_{10}$ , apresentado na figura 3.10. O estado inicial de  $G_{10}$  é o estado DISPONIVEL. Nesse estado as solicitações de movimentações são permitidas, enquanto que no estado INDISPONIVEL as solicitações estão bloqueadas.

Em fundos de fechamento, todos os processos envolvidos no cálculo da cota do fundo só podem ser inicializados no estado INDISPONIVEL. Além disso, uma vez iniciado o cálculo da cota, as movimentações só poderão estar disponíveis após a conclusão do cálculo. Em fundos de abertura, a inicialização do processo de Atualização de Interface só poderá ocorrer no estado INDISPONIVEL, após um último processamento das movimentações, sendo esse processamento executado após a ocorrência do evento  $fMovimentacoes$ .

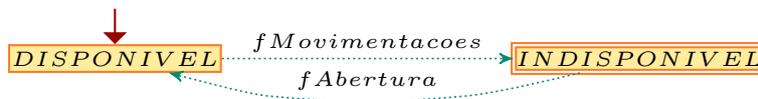


Figura 3.10: Autômato  $G_{10}$ , que modela período de solicitação de Movimentações.

### 3.2.11 Controlabilidade e Observabilidade

Na elaboração dos modelos apresentados na seção 3.2, considera-se que todos os eventos são observáveis, uma vez que o início e o término de cada processo envolvido no cálculo da cota são sempre detectados. Portanto o sistema estudado tem observabilidade completa.

Com relação a controlabilidade dos eventos dos modelos de cada processo, supõe-se que os eventos que representam os inícios dos processos são todos controláveis. Por sua vez, os eventos que representam os terminos dos processos são considerados não-controláveis. Dessa forma, um supervisor, que atue no sistema estudado deve lidar com a sua controlabilidade parcial. Os conjuntos de eventos controláveis e de eventos não-controláveis dos autômatos que modelam os processos envolvidos no cálculo de cotas são apresentados a seguir:

Autômato  $G_1$

$$\Sigma_{1c} = \{iAbertura, iCalculo\}; \quad \Sigma_{1uc} = \{fAbertura, fCalculo\}$$

Autômato  $G_2$

$$\Sigma_{2c} = \{iExigibilidade\}; \quad \Sigma_{2uc} = \{fExigibilidade\}$$

Autômato  $G_3$

$$\Sigma_{3c} = \{iImportacao\}; \quad \Sigma_{3uc} = \{fImportacao\}$$

Autômato  $G_4$

$$\Sigma_{4c} = \{iLiquidacao\}; \quad \Sigma_{4uc} = \{fLiquidacao\}$$

Autômato  $G_5$

$$\Sigma_{5c} = \{iImpacto\}; \quad \Sigma_{5uc} = \{fImpacto\}$$

Autômato  $G_6$

$$\Sigma_{6c} = \{iValorizacao\}; \quad \Sigma_{6uc} = \{fValorizacao\}$$

Autômato  $G_7$

$$\Sigma_{7c} = \{iInterface\}; \quad \Sigma_{7uc} = \{fInterface\}$$

Autômato  $G_8$

$$\Sigma_{8c} = \{iValidacao\}; \quad \Sigma_{8uc} = \{fValidacao\}$$

Autômato  $G_9$

$$\Sigma_{9c} = \{iEfetivacao\}; \quad \Sigma_{9uc} = \{fEfetivacao\}$$

Autômato  $G_{10}$

$$\Sigma_{10c} = \emptyset; \quad \Sigma_{10uc} = \{fMovimentacoes, fAbertura\}$$

## Capítulo 4

# Projeto de um Controle Supervisório pra o Cálculo de Cotas de Fundos de Investimento

Neste capítulo, será apresentado o projeto de um controle supervisorio capaz de garantir a correta execucao do calculo de cotas de fundos de investimento. Inicialmente, na secao 4.1 serao definidas as especificacoes de controle capaz de garantir que as etapas do calculo de cotas nao sejam executadas em um ordem incorreta. Em seguida na secao 4.2, serao apresentadas a sintese e a realizacao de um controle supervisorio que atende as especificacoes definidas na secao 4.1.

### 4.1 Especificacoes de Controle

Como descrito no capitulo 3, os requisitos para executar cada processo o calculo de cotas sao diferentes para fundos de fechamento e de abertura. Entao, a modelagem das especificacoes de controle sera feita separadamente, para cada um dos dois tipos de fundos de investimento.

#### 4.1.1 Fundo de Investimento com Cota de Fechamento

Para a modelagem das especificacoes de controle para Fundos de Fechamento, foi necessario o desenvolvimento de seis especificacoes. Cada uma das especificacoes e responsavel pela restricao de uma parte do processamento diario do fundo, conforme descrito a seguir.

## Especificações referentes aos processos de Exigibilidade, Valorização e Importação de Movimentações

Conforme descrito nas subseções 3.2.2, 3.2.6 e 3.2.3, o único requisito para que os processos de Exigibilidade, Valorização e Importação de Movimentações sejam iniciados é que o fundo esteja no estado ABERTO. Com base nisso, são propostas três especificações que desabilitam os eventos  $iExigibilidade$ ,  $iValorizacao$  e  $iImportacao$ , respectivamente, após a ocorrência do evento  $iCalculo$ , e somente retornam a habilitá-los após a ocorrência do evento  $fAbertura$ . Os autômatos,  $H_{f1}$ ,  $H_{f2}$ ,  $H_{f3}$ , que modelam essas especificações são apresentados na figura 4.1. Os conjuntos de eventos de  $H_{f1}$ ,  $H_{f2}$ ,  $H_{f3}$  são, respectivamente,  $E_{f1} = \{iExigibilidade, iCalculo, fAbertura\}$ ,  $E_{f2} = \{iValorizacao, iCalculo, fAbertura\}$ ,  $E_{f3} = \{iImportacao, iCalculo, fAbertura\}$ .

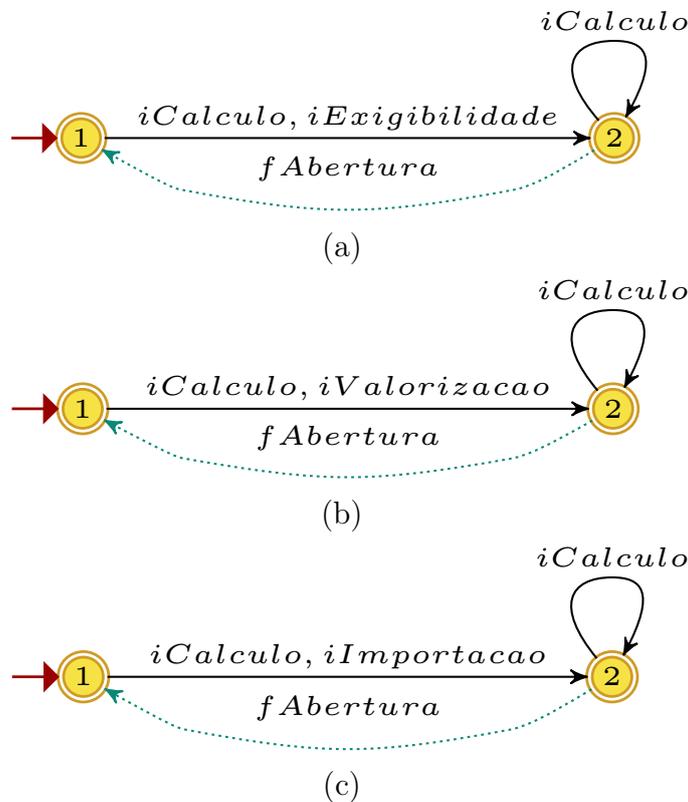


Figura 4.1: Autômatos (a)  $H_{f1}$ , (b)  $H_{f2}$  e (c)  $H_{f3}$ , que modelam as especificações referentes aos processos de Exigibilidade, Valorização e Impacto de Movimentações, respectivamente.

## Especificação referente ao processamento de movimentações

A quarta especificação é modelada pelo autômato  $H_{f4}$ , mostrado na figura 4.2 e trata do processamento de movimentações. Esse processamento deve ocorrer na seguinte ordem: inicialmente, se executa a Importação de Movimentação, em seguida a Liquidação das Movimentações e por fim o Impacto das Movimentações, sendo necessário que a etapa anterior tenha acabado antes de se iniciar a próxima. O conjunto de eventos desta especificação é dado por  $E_{f4} = \{iImportacao, fImportacao, iLiquidacao, fLiquidacao, iImpacto, fImpacto\}$ .

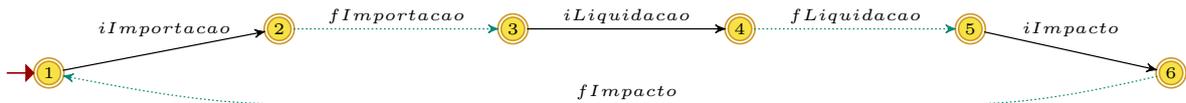


Figura 4.2: Autômato  $H_{f4}$  que modela a especificação referente ao processamento das movimentações.

## Especificações referentes ao processo de Validação

Conforme descrito nas subseções 3.2.2, 3.2.6 e 3.2.5, que descrevem os processos de Exigibilidade, Valorização e Impacto de Movimentações respectivamente, a finalização destes processos é necessária para a inicialização do processo de Validação. Com isso em mente, são propostas as três especificações modeladas pelos autômatos  $H_{f5}$ ,  $H_{f6}$ ,  $H_{f7}$ , apresentados nas figuras 4.3, 4.4 e 4.5. Os conjuntos de eventos de  $H_{f5}$ ,  $H_{f6}$ ,  $H_{f7}$  são, respectivamente,  $E_{f5} = \{fExigibilidade, iValidacao, fAbertura\}$ ,  $E_{f6} = \{fValorizacao, iValidacao, fAbertura\}$ ,  $E_{f7} = \{fImpacto, iValidacao, fAbertura\}$ .

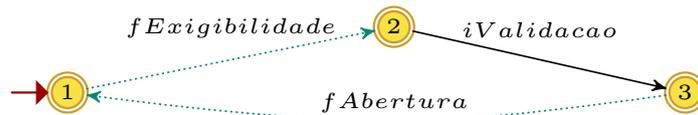


Figura 4.3: Autômato  $H_{f5}$  que modela a especificação do processo de validação referente ao processo de Exigibilidade.

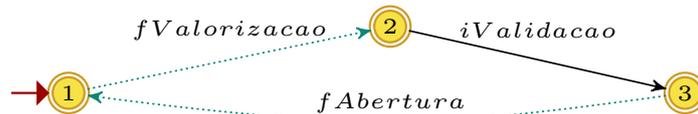


Figura 4.4: Autômato  $H_{f6}$  que modela a especificação do processo de validação referente ao processo de Valorização.

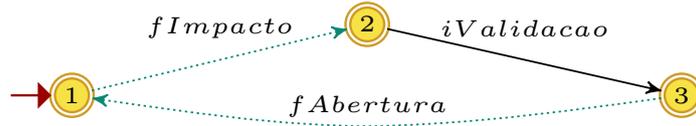


Figura 4.5: Autômato  $H_{f7}$  que modela a especificação do processo de validação referente ao processo de Importação de Movimentações.

### Especificação referente ao processo de Apuração de Cota

Conforme apresentado na subseção 3.2.8, que trata do processo de Validação, a finalização desse processo é necessária e suficiente para a inicialização do processo de Apuração de Cotas. Com base nisso, a especificação modelada pelo autômato  $H_{f8}$ , apresentado na figura 4.6 é proposta. O conjunto de eventos desta especificação é dado por  $E_{f8} = \{fValidacao, iCalculo, fAbertura\}$ .



Figura 4.6: Autômato  $H_{f8}$  que modela a especificação referente ao processo de Apuração de Cota.

### Especificação referente aos processos de Efetivação e Atualização de Interfaces

Conforme apresentado nas subseções 3.2.9 e 3.2.7, que tratam dos processos de Efetivação de Movimentações e Atualização de Interfaces, respectivamente, a condição para que esses processos sejam iniciados é que o fundo esteja no estado CALCULADO. Baseado nisso foi proposta a especificação, modelada pelo autômato  $H_{f9}$ , ilustrado na figura 4.7. O conjunto de eventos desta especificação é dado por  $E_{f9} = \{fCalculo, iEfetivacao, fEfetivacao, iInterface, fInterface, iAbertura, fAbertura\}$ .

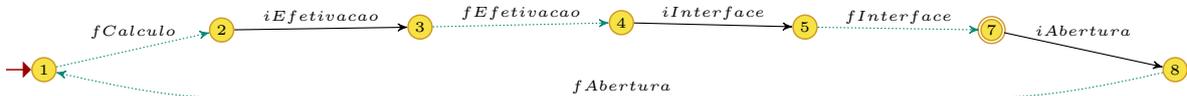


Figura 4.7: Autômato  $H_{f9}$  que modela a especificação referente aos processos de Efetivação e Atualização de Interfaces.

## Especificação associada ao fechamento de solicitação de movimentações

Conforme descrito na subseção 3.2.10, em fundos de fechamento, todos os processos envolvidos no cálculo da cota do fundo só podem ser inicializados no estado INDISPONIVEL, e, uma vez iniciado o cálculo da cota, as movimentações só poderão estar disponíveis após a conclusão do cálculo. Portanto a especificação representada pelo autômato  $H_{f10}$ , ilustrado na figura 4.8, é incluída no projeto. O conjunto de eventos desta especificação é dado por  $E_{f10} = \{iAbertura, iCalculo, iExigibilidade, iValorizacao, iValidacao, iImportacao, iLiquidacao, iImpacto, iEfetivacao, iInterface, fMovimentacoes, fAbertura\}$ .

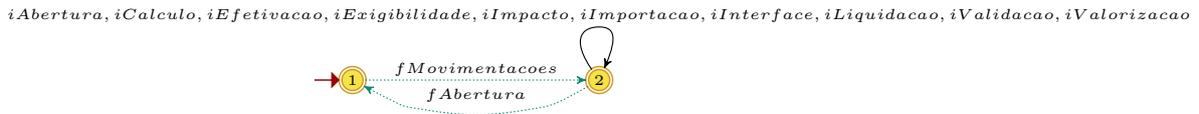


Figura 4.8: Autômato  $H_{f10}$  que modela a especificação associada ao fechamento de solicitação de movimentações.

## 4.1.2 Fundo de Investimento com Cota de Abertura

Analogamente aos Fundos de Fechamento a modelagem do funcionamento esperado para Fundos de Abertura também descrito no capítulo 3 foi implementado por nove especificações. Devido ao fato deste tipo de fundo realizar o processo de movimentações completo dentro de um mesmo dia as restrições devem permitir que o processamento de movimentações ocorra completamente inúmeras vezes no mesmo ciclo de processamento.

### Especificação referente ao processo de Cálculo de Exigibilidades

Conforme descrito na subseção 3.2.2, o único requisito para que o processo de Exigibilidade seja iniciado é que o fundo esteja no estado ABERTO. Com base nisso, é proposta uma especificação que desabilita o evento  $iExigibilidade$ , após a ocorrência do evento  $iCalculo$ , e somente retorna a habilitá-lo após a ocorrência do evento  $fAbertura$ . O autômato,  $H_{a1}$ , que modela essa especificação é apresentado na figura 4.9. O conjunto de eventos de  $H_{a1}$  é  $E_{a1} = \{iExigibilidade, iCalculo, fAbertura\}$ .

### Especificação referente ao processo de Valorização de Ativos

Conforme descrito na subseção 3.2.6, fundos de abertura realizam o processo de valorização de ativos em ambos os estados, ABERTO e CALCULADO. Nos dois estados não



Figura 4.9: Autômato  $H_{a1}$  que modela a especificação referente ao processo de Exigibilidade.

há requisitos adicionais para que seja executado o processo. Com base nisso, é proposta uma especificação que possibilita a inicialização do processo de valorização em ambos os estados. O autômato,  $H_{a2}$ , que modela essa especificação é apresentado na figura 4.10. O conjunto de eventos de  $H_{a2}$  é  $E_{a2} = \{iValorizacao, fCalculo, fAbertura\}$ .

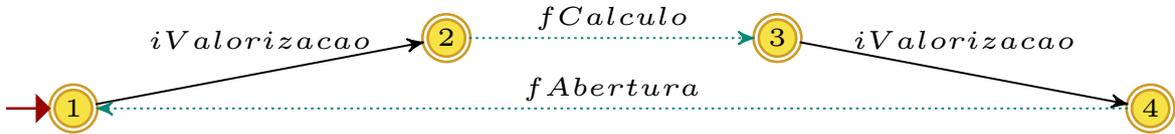


Figura 4.10: Autômato  $H_{a2}$  que modela a especificação referente ao processo de Valorização de Ativos.

### Especificações referentes ao processo de Validação

Conforme descrito nas subseções 3.2.2 e 3.2.6, que descrevem os processos de Exigibilidade e Valorização respectivamente, a finalização destes processos é necessária para a inicialização do processo de Validação, vale ressaltar que é o processo de valorização deve ocorrer em ambos os estados, ABERTO e CALCULADO, ou seja, antes e após o processo de Validação. Com isso em mente, são propostas as duas especificações modeladas pelos autômatos  $H_{a3}$ ,  $H_{a4}$ , apresentados nas figuras 4.11(a) e 4.11(b). Os conjuntos de eventos de  $H_{a3}$  e  $H_{a4}$  são, respectivamente,  $E_{a3} = \{fExigibilidade, iValidacao, fAbertura\}$  e  $E_{a4} = \{fValorizacao, iValidacao, fAbertura\}$ .

### Especificação referente ao processo de Apuração de Cota

Conforme apresentado na subseção 3.2.8, que trata do processo de Validação, a finalização desse processo é necessária e suficiente para a inicialização do processo de Apuração de Cotas. Com base nisso, a especificação modelada pelo autômato  $H_{a5}$ , apresentado na figura 4.12 é proposta. O conjunto de eventos desta especificação é dado por  $E_{a5} = \{fValidacao, iCalculo, fAbertura\}$ .

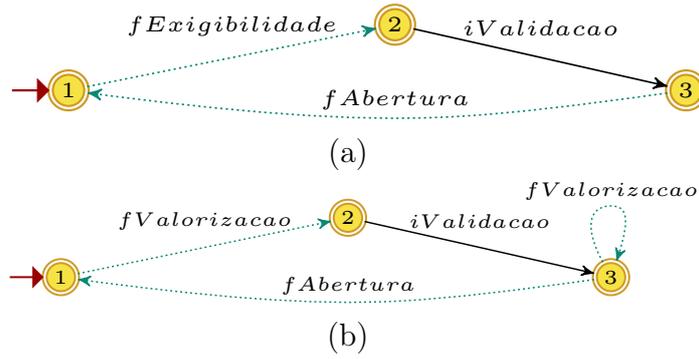


Figura 4.11: Autômatos que modelam as especificações referentes ao processo de validação, (a)  $H_{a3}$  e (b)  $H_{a4}$ , referentes aos processos de Exigibilidade e Valorização, respectivamente.

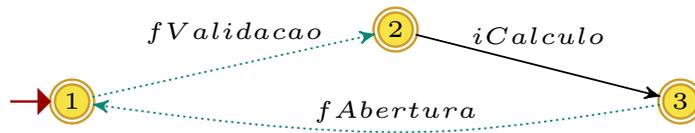


Figura 4.12: Autômato  $H_{a5}$  que modela a especificação referente ao processo de Apuração de Cota.

### Especificação referente ao processamento de movimentações

A sexta especificação é modelada pelo autômato  $H_{a6}$ , mostrado na figura 4.13 e trata do processamento de movimentações. Esse processamento deve ocorrer no estado de CALCULADO e respeitando a seguinte ordem: inicialmente, se executa a Importação de Movimentação, em seguida a Liquidação das Movimentações, posteriormente o Impacto das Movimentações e por fim a Efetivação das Movimentações, sendo necessário que a etapa anterior tenha acabado antes de se iniciar a próxima. O conjunto de eventos desta especificação é dado por  $E_{a6} = \{iImportacao, fImportacao, iLiquidacao, fLiquidacao, iImpacto, fImpacto, iEfetivacao, fEfetivacao, fCalculo, iAbertura\}$ .



Figura 4.13: Autômato  $H_{a6}$  que modela a especificação referente ao processamento de movimentações.

## Especificações referente ao processo de Atualização de Interfaces

Conforme descrito na subseção 3.2.7, que descreve o processo de Atualização de Interface, este processo deve ocorrer com o fundo em estado CALCULADO e após finalizar todos os outros processos. Com isso em mente, são propostas as duas especificações modeladas pelos autômatos  $H_{a7}$  e  $H_{a8}$ , apresentados nas figuras 4.14(a) e 4.14(b). Os conjuntos de eventos de  $H_{a7}$  e  $H_{a8}$  são, respectivamente,  $E_{a7} = \{iImportacao, fEfetivacao, iInterface, fAbertura\}$  e  $E_{a8} = \{fValorizacao, iInterface, fAbertura\}$ .

Vale ressaltar que a execução do processo de Atualização de Interfaces em fundos de abertura requer um processamento de movimentações extra, executado após o fechamento das solicitações de movimentações do fundo, de modo a garantir que todas as movimentações, referentes a data em processamento, serão de fato contabilizadas. Essa condição será considerada na última especificação dessa subseção.

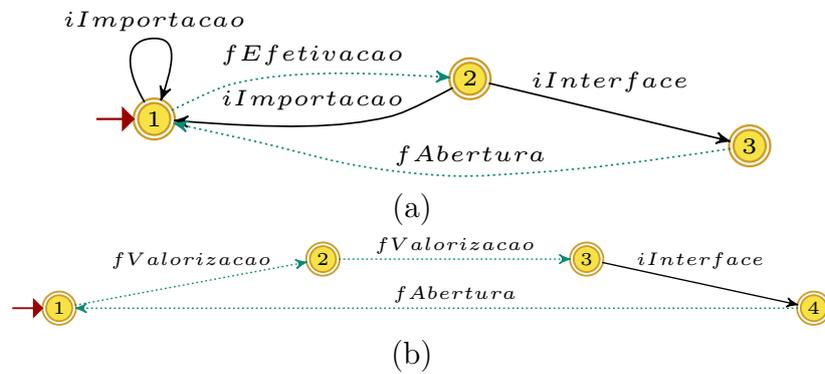


Figura 4.14: Autômatos que modelam as especificações referentes ao processo de Atualização de Interfaces (a)  $H_{a7}$  e (b)  $H_{a8}$

## Especificação referente ao processo de Abertura

A última especificação trata sobre o processo de Abertura que somente deve ocorrer após a finalização do processo de Atualização de Interfaces. Com base nisso, é proposta uma especificação que somente habilita a inicialização do processo de Abertura após a finalização da Atualização de Interfaces. O autômato,  $H_{a9}$ , que modela essa especificação é apresentado na figura 4.15. O conjunto de eventos de  $H_{a9}$  é,  $E_{a9} = \{fInterface, iAbertura, fAbertura\}$ .

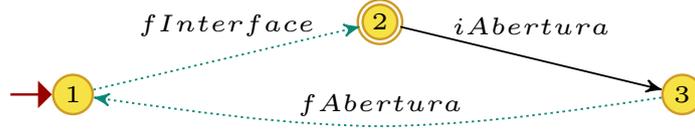


Figura 4.15: Autômato  $H_{a9}$  que modela a especificação referente ao processo de Abertura.

### Especificação associada ao fechamento de solicitação de movimentações

Conforme descrito na subseção 3.2.10, em fundos de abertura, a inicialização do processo de Atualização de Interface só poderá ocorrer no estado INDISPONIVEL, após um último processamento das movimentações, sendo esse processamento executado após a ocorrência do evento  $fMovimentacoes$ . Portanto a última especificação, representada pelo autômato  $H_{a10}$ , ilustrado na figura 4.16, foi considerada no projeto. O conjunto de eventos desta especificação é dado por  $E_{a10} = \{fMovimentacoes, iImportacao, iInterface, fAbertura\}$ .

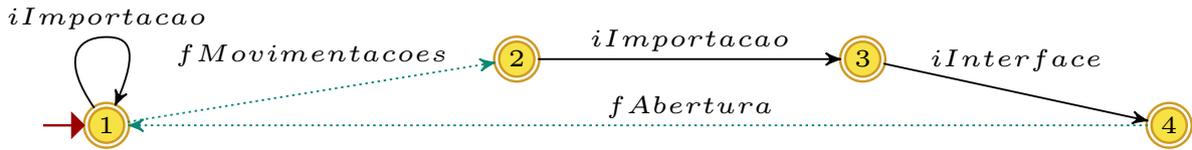


Figura 4.16: Autômato  $H_{f10}$  que modela a especificação associada ao fechamento de solicitação de movimentações.

## 4.2 Síntese e Realização dos Supervisores

Para a obtenção dos Supervisores para os Fundos de Fechamento e de Abertura, inicialmente, calculou-se um autômato para cada um dos tipos de fundos, que captura as especificações expostas na seção 4.1, quais sejam:

$$H_f = H_{f1} \parallel H_{f2} \parallel H_{f3} \parallel H_{f4} \parallel H_{f5} \parallel H_{f6} \parallel H_{f7} \parallel H_{f8} \parallel H_{f9} \parallel H_{f10}, \quad (4.1)$$

que modela todas as especificações de controle para fundos de fechamento, e

$$H_a = H_{a1} \parallel H_{a2} \parallel H_{a3} \parallel H_{a4} \parallel H_{a5} \parallel H_{a6} \parallel H_{a7} \parallel H_{a8} \parallel H_{a9} \parallel H_{a10} \quad (4.2)$$

que modela todas as especificações de controle para fundos de abertura.

Ambos os autômatos,  $H_a$  e  $H_f$ , são demasiadamente grandes para serem apresentados. O autômato  $H_a$  tem 3690 estados e 16404 transições e, por sua vez, o autômato  $H_f$  tem 1843 estados e 8174 transições.

Para obter os autômatos que marcam as linguagens marcadas admissíveis dos fundos de fechamento e de abertura, denotadas respectivamente por  $K_{m,f}$  e  $K_{m,a}$ , o primeiro passo consiste em calcular a composição paralela das especificações  $H_f$  e  $H_a$  com a planta  $G$ , em que

$$G = G_1 \parallel G_2 \parallel G_3 \parallel G_4 \parallel G_5 \parallel G_6 \parallel G_7 \parallel G_8 \parallel G_9 \parallel G_{10}.$$

Vale ressaltar que  $G$  tem 2048 estados e 1920 transições. Com isso obtêm-se os seguinte autômatos

$$H_m^f = H_f \parallel G$$

e

$$H_m^a = H_a \parallel G.$$

Em seguida, o segundo passo consiste em remover possíveis bloqueios de  $H_m^f$  e  $H_m^a$ . Isso pode ser feito aplicando a função *Trim* a  $H_m^f$  e  $H_m^a$ . No entanto, pode-se verificar que  $H_m^f = \text{Trim}(H_m^f)$  e  $H_m^a = \text{Trim}(H_m^a)$ , o que mostra que ambos os autômatos não têm estados de bloqueio.

Uma vez obtidos os autômatos que marcam as linguagens marcadas admissíveis,  $K_{m,f}$  e  $K_{m,a}$ , como a planta a ser controlada tem Controlabilidade Parcial, então, de acordo com o Teorema da Controlabilidade (Teorema 1), precisa-se verificar se tais linguagens são controláveis em relação a  $L(G)$  e  $\Sigma_{uc}$ , em que

$$\Sigma_{uc} = \left\{ \begin{array}{l} fAbertura, fCalculo, fImportacao, fLiquidacao, fEfetivacao, \\ fImpacto, fMovimentacoes, fValidacao, fValorizacao, fInterface \end{array} \right\}.$$

Para esta verificação foi utilizado o comando *is\_cont()*, conforme descrito em [21] e apresentado no apêndice A. Com isso, foi possível concluir que ambas as linguagens marcadas admissíveis são controláveis.

Vale ressaltar que os dois supervisores sintetizados pelas linguagens marcadas admissíveis  $K_{m,f}$  e  $K_{m,a}$  devem ser supervisores desmarcadores (subseção 2.2.2), uma vez que, as especificações  $H_{f9}$  e  $H_{a9}$ , respectivamente, forçam a desmarcação de alguns estados. Não obstante, conforme o teorema 2, existem supervisores desmarcadores não bloqueantes  $S_d^f$  e  $S_d^a$  tais que  $L_m(S_d^f/G) = K_{m,f}$  e  $L_m(S_d^a/G) = K_{m,a}$ , uma vez que  $K_{m,f}$  e  $K_{m,a}$

são controláveis em relação a  $L(G)$  e  $\Sigma_{uc}$ . Além disso, como o sistema considerado tem observabilidade completa, os autômatos  $H_m^f$  e  $H_m^a$  são realizações dos supervisores  $S_d^f$  e  $S_d^a$ .

O autômato  $H_m^f$  tem 73 estados e 149 transições e, por sua vez, o autômato  $H_m^a$  tem 105 estados e 202 transições. O diagrama de transição de estados de  $H_m^f$  e  $H_m^a$  são apresentadas nas figuras 4.17 e 4.18, respectivamente, e suas funções de transições de estados podem ser encontrados nos apêndices B e C respectivamente.

### 4.3 Análise dos Comportamentos em Malha Fechada de $S_d^f/G$ e $S_d^a/G$

Pode-se observar, por meio da figura 4.17, que, o supervisor  $S_d^f$  garante a execução correta do cálculo de cotas de Fundos de Fechamento. Note que, o processamento só é iniciado após a ocorrência do evento  $fMovimentacoes$ , o qual leva a planta  $G_{10}$  ao estado INDISPONIVEL. Após a ocorrência de  $fMovimentacoes$ , a execução dos processos de Exigibilidade, Valorização e Importação de Movimentações é habilitada, permitindo que essas três etapas sejam executadas em paralelo. Também é permitida, após a conclusão da Importação de Movimentações, a execução sequencial dos processos de Liquidação e Impactação de Movimentações, mesmo antes da conclusão dos processos de Exigibilidade e de Valorização. Além disso, pode-se observar que a execução do processo de Validação só é habilitada após a conclusão dos processos de Exigibilidade e de Valorização e do processamento das movimentações (processos de Importação, Liquidação e Impactação das Movimentações). Em seguida, os processos de Apuração da Cota, Efetivação das Movimentações e Atualização das Interfaces são habilitados nessa ordem. A finalização da execução do processo de Atualização das Interfaces determina o término do cálculo da cota de um fundo de fechamento e, portanto, o estado 19 é o único estado marcado de  $H_m^f$ . Por fim, a transição a partir do estado 19 rotulada pelo evento  $iAbertura$  representa o início da abertura do fundo e a atualização da sua data.

Por meio da figura 4.18, pode-se verificar a atuação do supervisor  $S_d^a$  sobre a execução do cálculo de cotas de Fundos de Abertura. Inicialmente,  $S_d^a$  habilita a execução, possivelmente simultânea, dos processos de Exigibilidade e de Valorização. Por sua vez, a inicialização do processo de Validação só é permitida por  $S_d^a$  após a conclusão de ambos os processos anteriores, Exigibilidade e Valorização. Em seguida, após a conclusão da Validação, a inicialização do processo de Apuração da Cota é permitida. O término desse último processo, altera o estado da planta  $G_1$  para CALCULADO, o que faz com

que o supervisor  $S_d^a$  habilite uma nova execução do processo de Validação e o completo processamento das movimentações, isto é, a execução, nessa ordem, dos processos de Importação, Liquidação, Impactação e Efetivação das Movimentações. Note que todas as etapas descritas até então podem ser executadas enquanto a planta  $G_{10}$  está no estado DISPONIVEL, ou seja, enquanto novas movimentações podem ser solicitadas pelos cotistas. Dessa forma, após a execução do evento fMovimentacoes, que altera o estado de  $G_{10}$  para INDISPONIVEL, um novo processamento de movimentações (Importação, Liquidação, Impactação e Efetivação das Movimentações) é exigido por  $S_d^a$ , antes dele habilitar a inicialização da Atualização de Interfaces. Isso garante que todas as solicitações de movimentações, feitas por cotistas na data de processamento, sejam de fato processadas. A finalização da execução do processo de Atualização das Interfaces determina o término do cálculo da cota de um fundo de abertura e, portanto, o estado 21 é o único estado marcado de  $H_m^a$ . Por fim, a transição a partir do estado 21 rotulada pelo evento iAbertura representa o início da abertura do fundo e a atualização da sua data.



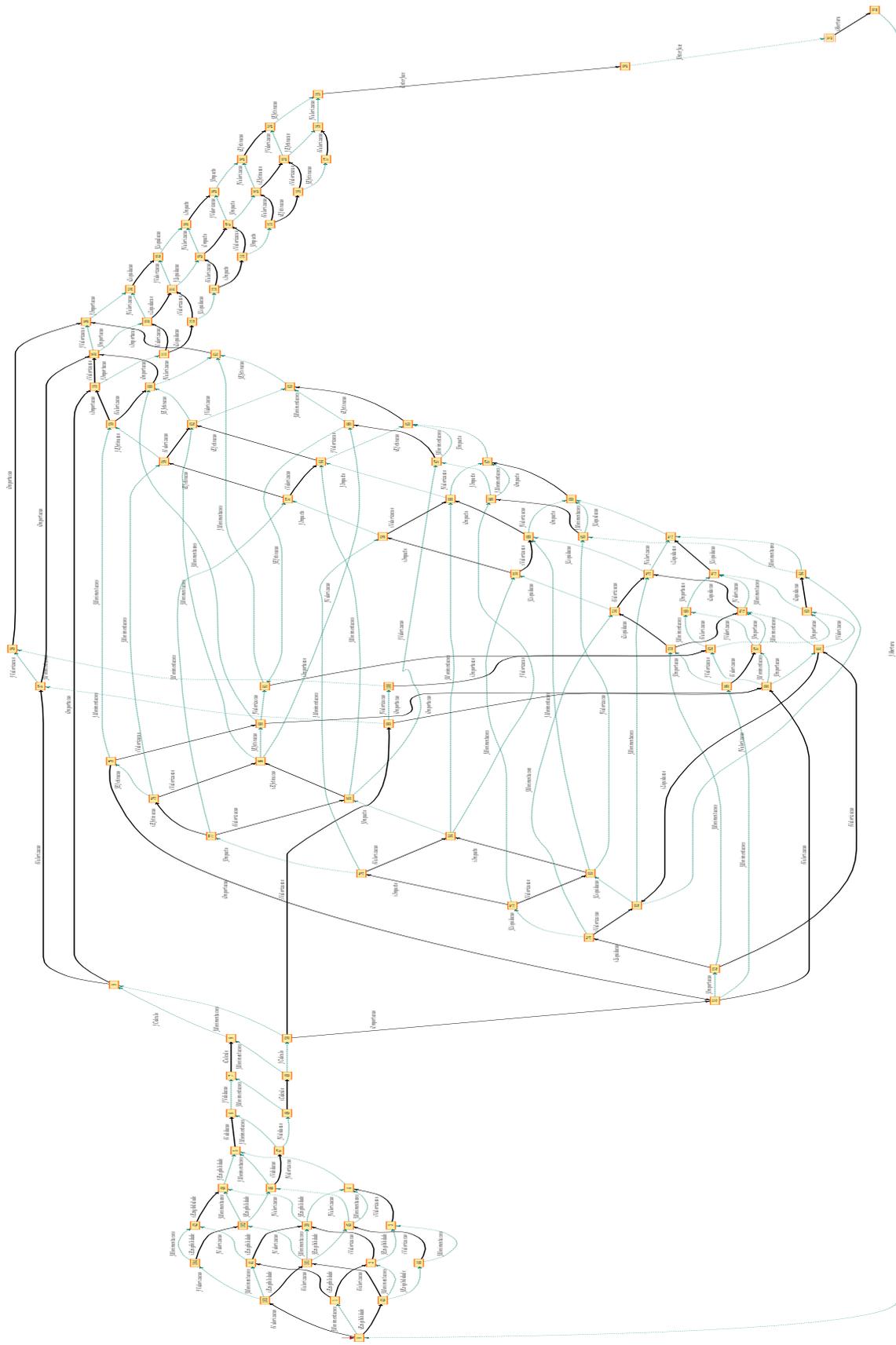


Figura 4.18: Comportamento Esperado Fundo de Abertura.

# Capítulo 5

## Conclusões

Neste trabalho apresentou-se uma aplicação da teoria de controle supervisão de sistemas a eventos discretos ao mercado financeiro, em um contexto diferente do comumente encontrado na literatura de SEDs. Foram projetados dois controladores para a supervisão do cálculo de cotas de fundos de investimento, processo esse que é um dos mais críticos no mercado de fundos de investimento. Cada um dos supervisores foi construído para lidar com uma das seguintes classes de fundos de investimento: Fundos com Cota de Abertura e Fundos com Cota de Fechamento.

O funcionamento básico de um fundo de investimento foi modelado por um conjunto de autômatos de forma a tratar separadamente cada etapa do processo, para assim obter autômatos mais simples para cada subprocesso. O resultado obtido correspondeu as expectativas de projeto, conseguindo restringir o sistema de forma a habilitar apenas sequências válidas no processamento do fundo de investimento conforme descrito na seção 4.3.

Com base nos resultados apresentados, pode-se demonstrar a viabilidade da utilização da teoria de controle supervisão no controle do processo de cálculo de cotas de fundos de investimento que, atualmente, é realizado, em geral, de forma manual por um operador. Tal controle manual tem vários problemas como, por exemplo, esse tipo de controle não é seguro, pois depende da execução correta das tarefas pelo operador, que é responsável, diariamente, por dezenas de fundos com características e fluxos de processamento diferentes. A complexidade dessa tarefa pode ser estimada pelas dimensões do autômato que modela a planta, com 2048 estados e 19200 transições, e dos autômatos que modelam os comportamento em malha fechada resultantes, com 73 estados e 149 transições para fundos de fechamento e com 105 estados e 202 transições para fundos de abertura. Neste processo qualquer erro, por menor que seja, pode gerar

consequências relevantes, pois pode afetar indiretamente o mercado como um todo, uma vez que muitos fundos dependem de resultados de outros para calcular sua cota. Outro aspecto ruim do controle manual é a ineficiência, pois, como é inviável, para o operador, controlar com atenção dezenas de fundos, é comum que ele opte por aguardar até que vários fundos estejam aptos para realizar certa etapa do processamento para processá-los em conjunto, gerando com isso demora no processamento e alto consumo de computacional do sistema. Ambos os problemas citados são resolvidos com a aplicação do controle supervisorio proposto neste trabalho. Entretanto, talvez, o ganho mais relevante seja na escalabilidade do processo, visto que, hipoteticamente, pode-se implementar um número de controladores supervisorios (um para cada fundo) superior ao número de fundos que um operador humano consegue controlar.

Os Supervisores propostos nesse trabalho, ilustrados nas figuras 4.17 e 4.18, podem ser implementados, via linguagem de programação, para controlar a execução de cada etapa do processo do cálculo da cota de um fundo. Esse trabalho futuro preencheria a lacuna restante para a real utilização dos supervisores propostos. Tendo em vista as possibilidades abertas via "*Cloud Computing*", que é a utilização de recursos de computação sob demanda pela internet, os Supervisores poderiam ser implementados como programas que se utilizariam de processamento sob demanda, como, por exemplo, o AWS Lambda [22], para a execução de cada subprocesso, de forma a facilitar a escalabilidade e permitir maior redução de custos.

Outro tema de trabalho futuro é a aplicação da teoria de controle supervisorio de SEDs aos processos internos de cada uma das etapas do processo. Com isso, devido ao tamanho e complexidade dos autômatos envolvidos, acredita-se que será necessária a utilização de uma metodologia que possibilite trabalhar com esses autômatos de forma mais eficiente. A teoria de controle supervisorio modular, descrita na seção 2.3 é sugerida como ferramenta.

# Referências Bibliográficas

- [1] SHUEFFEL, P. “Taming the Beast: A Scientific Definition of Fintech”, *Journal of Innovation Management*, v. 4, n. 4, pp. 32 – 54, 2016.
- [2] SIEGL, B., DEVECCHI, A., JUNIOR, J. L. R. F., et al. “O Crescimento das Inovações Financeiras no Sistema Financeiro Nacional e seu Impacto no Sistema Bancário”, *Anais do 10º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE*, 2018.
- [3] “Texto Integral da Instrução CVM Nº 555, DE 17 de Dezembro de 2014, com as Alterações Introduzidas pelas Instruções CVM Nº 563/15, 564/15, 572/15, 582/16, 587/17, 604/18 e 605/19.” Disponível em: <<http://www.cvm.gov.br/export/sites/cvm/legislacao/instrucoes/anexos/500/inst555consolid.pdf>>.
- [4] LI, D., NG, W.-L. “Optimal Dynamic Portfolio Selection: Multi-Period Mean-Variance Formulation”. 1998. Department of Systems Engineering and Engineering Management.
- [5] OBEIDAT, S., SHAPIRO, D., LEMAY, M., et al. “Adaptive Portfolio Asset Allocation Optimization with Deep Learning”, *International Journal on Advances in Intelligent Systems*, v. 11, n. 1, pp. 25 – 34, 2018.
- [6] KAUPA, P. H. *Aplicações de técnicas da inteligência artificial na seleção de ações pra investimento na bolsa de valores de São Paulo*. Tese de doutorado, Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, SP - Brasil, 2013.
- [7] ALMEIDA, N. S., SILVA, R. F., RIBEIRO, K. C. S. “Aplicação do Modelo de Markowitz na seleção de carteiras eficientes: Uma análise do cenários no mercado de capitais brasileiro.” *XIII SEMEAD Seminários em administração*, ISSN 2177-3866, 2010.

- [8] CASSANDRAS, C. G., LAFORTUNE, S. *Introduction to Discrete Event Systems*. 2 ed. New York, Springer, 2008.
- [9] WONHAM, W. M. “Supervisory control of discrete-event systems”. Disponível em: <http://www.control.utoronto.ca/cgi-bin/dldes.cgi,2017>.
- [10] WONHAM, W. M., CAI, K. *Supervisory Control of Discrete-Event Systems*. Springer, 2019.
- [11] JOHN, E. H., MOTWANI, R., ULLMAN, J. D. *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*. Pearson, 2001.
- [12] ALVES, M. V. S. *Supervisory Control of Networked Discrete Event Systems with Timing Structure*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ - Brasil, 2017.
- [13] LAGRECA, D. R. *Implementação de um Controle Supervisório Robusto em um Sistema de Controle de Tráfego Ferroviário Sujeito a Perdas Intermitentes de Observação*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ - Brasil, 2017.
- [14] HERING DE QUEIROZ, M., CURY, J. “Controle supervisório modular de sistemas de manufatura”, *Sba: Controle e Automacao Sociedade Brasileira de Automatica*, v. 13, 2002.
- [15] “Portal do Investidor”. Disponível em: [http://www.investidor.gov.br/menu/Menu\\_Investidor/a\\_cvm/ACVM.html](http://www.investidor.gov.br/menu/Menu_Investidor/a_cvm/ACVM.html).
- [16] “LÂMINA DE INFORMAÇÕES ESSENCIAIS SOBRE O ALASKA BLACK INS FIA”. Disponível em: [http://cvmweb.cvm.gov.br/SWB/Sistemas/SCW/CPublica/CPublicaLamina.aspx?PK\\_PARTIC=154797](http://cvmweb.cvm.gov.br/SWB/Sistemas/SCW/CPublica/CPublicaLamina.aspx?PK_PARTIC=154797).
- [17] “LÂMINA DE INFORMAÇÕES ESSENCIAIS SOBRE O TESOIRO SIMPLES RF”. Disponível em: [http://cvmweb.cvm.gov.br/SWB/Sistemas/SCW/CPublica/CPublicaLamina.aspx?PK\\_PARTIC=164802](http://cvmweb.cvm.gov.br/SWB/Sistemas/SCW/CPublica/CPublicaLamina.aspx?PK_PARTIC=164802).
- [18] CLAVIJO, L. B., BASILIO, J. C., CARVALHO, L. K. “DESLAB: A scientific computing program for analysis and synthesis of discrete-event systems”, *IFAC Proceedings Volumes*, v. 45, n. 29, pp. 349 – 355, 2012. 11th IFAC Workshop on Discrete Event Systems.

- [19] “DESLab - The scientific computing package for DES”. Disponível em: <<http://www.dee.ufrj.br/lca/deslab.html>>.
- [20] COUTINHO, L. E. A. A. “A tutorial for the scientific computing program DESlab”. 2014. Projeto de conclusão do curso de engenharia elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [21] GARCIA, D. R. *DESlab para Desenvolvedores*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ - Brasil, 2018.
- [22] “AWS Lambda - Guia do Desenvolvedor”. Disponível em: <[https://docs.aws.amazon.com/pt\\_br/lambda/latest/dg/lambda-dg.pdf#welcome](https://docs.aws.amazon.com/pt_br/lambda/latest/dg/lambda-dg.pdf#welcome)>.

# Apêndice A

## Código Python DESLab de Modelagem das Plantas, Restrições e Operações Realizadas

Neste apêndice estão disponibilizados os códigos utilizados para modelar as plantas apresentadas no capítulo 3, assim como as Especificações e autômatos apresentados no capítulo 4. Os conhecimentos necessários para o desenvolvimento utilizando as funções do pacote *DESLab* foram obtidos em [20, 21].

Listing A.1: Codigos utilizados para modelar as plantas as especificacoes e os supervisores utilizados nesse trabalho

```
1
2 # Importacao de Bibliotecas
3 from deslab import*
4
5 def supCont(H,G):
6     """
7     - This function computes automaton Hi such that Lm(Hi) is
8     the supremal controllable sublanguage
9     of Lm(H) with respect to L(G) and Euc = (G.Sigma - G.Sigcon
10     )
11     - WARNING: Automaton H must be a nonblocking automaton
12     """
13     Gm = G.setpar(Xm = G.X)
```

```

13     Euc = G.Sigma - G.Sigcon
14
15     Hi = product(H,Gm,simplify=False)
16     Hi = Hi.setpar(Sigcon = G.Sigcon, Sigobs = G.Sigobs, name='
17         supC(L(%s))'%(H.name))
18     aux = 1
19     while aux:
20         aux = 0
21         for (x,xg) in Hi.X:
22             if not(Gm.Gamma(xg) & Euc <= Hi.Gamma((x,xg))):
23                 Hi = Hi.deletestate((x,xg))
24                 aux = 1
25         Hi = trim(Hi)
26         if Hi== fsa():
27             return Hi
28     Hi = Hi.renamestates('number')
29     return Hi
30 def is_cont(H,G):
31     """
32     - This function verifies the controllability
33     of Lm(H) with respect to L(G) and Euc = (G.Sigma - G.Sigcon
34     )
35     - WARNING: Automaton H must be a nonblocking automaton
36     """
37     Gm = G.setpar(Xm = G.X)
38     Euc = G.Sigma - G.Sigcon
39
40     Hi = product(H,Gm,simplify=False)
41     Hi = Hi.setpar(Sigcon = G.Sigcon, Sigobs = G.Sigobs, name='
42         supC(L(%s))'%(H.name))
43     for (x,xg) in Hi.X:
44         if not(Gm.Gamma(xg) & Euc <= Hi.Gamma((x,xg))):

```

```

45     return True
46
47 def compare_auto(auto1, auto2):
48     """
49     answer[0]:
50         - 'Equal' if  $L(auto1) == L(auto2)$ 
51         - 'Subset' if  $L(auto1) < L(auto2)$ 
52         - 'Superset' if  $L(auto1) > L(auto2)$ 
53         - 'Uncomp' if  $L(auto1) \not> L(auto2)$  and  $L(auto2) \not> L($ 
            $auto1)$ 
54     answer[1]:
55         - 'Equal' if  $Lm(auto1) == Lm(auto2)$ 
56         - 'Subset' if  $Lm(auto1) < Lm(auto2)$ 
57         - 'Superset' if  $Lm(auto1) > Lm(auto2)$ 
58         - 'Uncomp' if  $Lm(auto1) \not> Lm(auto2)$  and  $Lm(auto2) \not>$ 
            $Lm(auto1)$ 
59     """
60     G1 = auto1.copy()
61     G2 = auto2.copy()
62     answer = [str(), str()]
63
64     G1_2 = G1 - G2
65     G2_1 = G2 - G1
66     if G1_2.Xm and G2_1.Xm:
67         answer[1] = 'Uncomp'
68     elif G1_2.Xm:
69         answer[1] = 'Supset'
70     elif G2_1.Xm:
71         answer[1] = 'Subset'
72     else:
73         answer[1] = 'Equal'
74
75     G1 = G1.setpar(Xm = G1.X)
76     G2 = G2.setpar(Xm = G2.X)
77     G1_2 = G1 - G2

```

```

78     G2_1 = G2 - G1
79     if G1_2.Xm and G2_1.Xm:
80         answer[0] = 'Uncomp'
81     elif G1_2.Xm:
82         answer[0] = 'Supset'
83     elif G2_1.Xm:
84         answer[0] = 'Subset'
85     else:
86         answer[0] = 'Equal'
87     return answer
88
89 # Declaracao de Variaveis
90 syms('s1 s2 s3 s4 s5 s6 s7 s8 s9 s10 s11 s12 s13 s14 s15 s16
91      s17 s18 s19')
92 #Sigma = [ia, fa, ic, fc, vm, em, nm, ii, fi, vl, el, nl, il,
93          fl, vi, ei, ni, iim, fim, ivm, vv, nv, fvm, ev, iva, fva,
94          ict, fct, iv, fv, ve, ne, ee, ie, fe, ir, fr, iia, fia, iic,
95          fic]
96 #SigmaCont = [ia, ic, vm, ii, vl, il, vi, iim, ivm, vv, iva,
97              ict, iv, fv, ve, ie, ir, iia, iic]
98
99 ##### Descricao dos Eventos
100 #####
101 # iAbertura - Inicio do Processo de Abertura
102 # fAbertura - Final do Processo de Abertura
103
104 # iExigibilidade - Inicio do Processo de Calculo de
105     Exigibilidades
106 # fExigibilidade - Final do Processo de Calculo de
107     Exigibilidades
108
109 # iImportacao - Inicio de Processo de Importacao de

```

Movimentacoes  
 105 # *fImportacao – Final do Processo de Importacao de*  
       *Movimentacoes*  
 106  
 107 # *iLiquidacao – Inicio do Processo de Liquidacao de*  
       *Movimentacoes*  
 108 # *fLiquidacao – Final do Processo de Liquidacao de*  
       *Movimentacoes*  
 109  
 110 # *iImpacto – Inicio do Processo de Impacto de Movimentacoes*  
 111 # *fImpacto – Final do Processo de Impacto de Movimentacoes*  
 112  
 113 # *iValorizacao – Inicio do Processo de Valorizacao de Ativos*  
 114 # *fValorizacao – Final do Processo de Valorizacao de Ativos*  
 115  
 116 # *iValidacao – Inicio do Processo de Validacao*  
 117 # *fValidacao – Final do Processo de Validacao*  
 118  
 119 # *iInterface – Inicio do Processo de Interface*  
 120 # *fInterface – Final do Processo de Interface*  
 121  
 122 # *iCalculo – Inicio do Processo de Calculo*  
 123 # *fCalculo – Final do Processo de Calculo*  
 124  
 125 # *iEfetivacao – Inicio do Processo de Efetivacao*  
 126 # *fEfetivacao – Final do Processo de Efetivacao*  
 127  
 128  
 129 ##### *Descricao das Plantas* #####  
 130  
 131 # *G1 – Planta de Status do Fundo*  
 132 # *G2 – Planta de Importacao de Movimentacoes*  
 133 # *G3 – Planta de Liquidacao de Movimentacoes*  
 134 # *G4 – Planta de Impacto de Movimentacoes*  
 135 # *G5 – Planta de Valorizacao de Ativos*

```

136 # G6 - Planta de Calculo de Taxas
137 # G7 - Planta de Validacao
138 # G8 - Planta de Efetivacao
139 # G9 - Planta de Interface
140
141 ##### Implementacao das Plantas #####
142
143 # Status
144 syms('iAbertura iCalculo fAbertura fCalculo') # Declaracao de
      Eventos
145 X = [s1, s2, s3, s4] # Conjunto de Estados
146 E = [iAbertura, fAbertura, iCalculo, fCalculo] # Conjunto de
      Eventos
147 Ec = [iAbertura, iCalculo] # Conjunto de Eventos Controlaveis
148 T = [(s1, iCalculo, s2), (s2, fCalculo, s3), (s3, iAbertura, s4), (s4
      , fAbertura, s1)] # Conjunto de Transicoes
149 X0 = [s1] # Conjunto de Estados Iniciais
150 Xm = [s3] # Conjunto de Estados Marcados
151 table = [(s1, 'ABERTO'), (s2, 'calculando'), (s3, 'CALCULADO'), (
      s4, 'abrindo')] # Rotulos para as figuras
152 G1 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table, Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      Status do Fundo') # Considerando Observaveis apenas os
      Eventos Controlaveis para fins de ilustracao sem perda de
      generalizacao
153 G1.setgraphic('verifier')
154 #draw(G1)
155
156 # Importacao
157 syms('iImportacao fImportacao')
158 X = [s1, s2]
159 E = [iImportacao, fImportacao]
160 Ec = [iImportacao]
161 T = [(s1, iImportacao, s2), (s2, fImportacao, s1)]
162 X0 = [s1]
163 Xm = [s1]

```

```

164 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' )]
165 G2 = fsa (X,E,T,X0,Xm, table=table , Sigcon=Ec , Sigobs=Ec , name='
      Importa\c{c}\~{a}o de movimenta\c{c}\~{a}o' )
166 #draw(G2)
167
168 #Liquidacao Movimentacoes
169 syms('iLiquidacao fLiquidacao')
170 X = [s1 , s2]
171 E = [iLiquidacao , fLiquidacao]
172 Ec = [iLiquidacao]
173 T = [(s1 , iLiquidacao , s2) ,(s2 , fLiquidacao , s1)]
174 X0 = [s1]
175 Xm = [s1]
176 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' )]
177 G3 = fsa (X,E,T,X0,Xm, table=table , Sigcon=Ec , Sigobs=Ec , name='
      Liquida\c{c}\~{a}o de movimenta\c{c}\~{a}o' )
178 #draw(G3)
179
180 #Impacto de Movimentacoes
181 syms('iImpacto fImpacto')
182 X = [s1 , s2]
183 E = [iImpacto , fImpacto]
184 Ec = [iImpacto]
185 T = [(s1 , iImpacto , s2) ,(s2 , fImpacto , s1)]
186 X0 = [s1]
187 Xm = [s1]
188 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' )]
189 G4 = fsa (X,E,T,X0,Xm, table=table , Sigcon=Ec , Sigobs=Ec , name='
      Impacto de movimenta\c{c}\~{a}o' )
190 #draw(G4)
191
192 #Valorizacao
193 syms('iValorizacao fValorizacao')
194 X = [s1 , s2]
195 E = [iValorizacao , fValorizacao]

```

```

196 Ec = [iValorizacao]
197 T = [(s1 , iValorizacao , s2) ,(s2 , fValorizacao , s1)]
198 X0 = [s1]
199 Xm = [s1]
200 table = [(s1 , '1') ,(s2 , '2')]
201 G5 = fsa(X,E,T,X0,Xm, table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      Valoriza\c{c}\~{a}o')
202 #draw(G5)
203
204 #Calculo de Exigibilidades
205 syms('iExigibilidade fExigibilidade')
206 X = [s1 , s2]
207 E = [iExigibilidade , fExigibilidade]
208 Ec = [iExigibilidade]
209 T = [(s1 , iExigibilidade , s2) ,(s2 , fExigibilidade , s1)]
210 X0 = [s1]
211 Xm = [s1]
212 table = [(s1 , '1') ,(s2 , '2')]
213 G6 = fsa(X,E,T,X0,Xm, table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name="C
      \\'{a}lculo de Exigibilidades")
214 #draw(G6)
215
216 #Validacao
217 syms('iValidacao fValidacao')
218 X = [s1 , s2]
219 E = [iValidacao , fValidacao]
220 Ec = [iValidacao]
221 T = [(s1 , iValidacao , s2) ,(s2 , fValidacao , s1)]
222 X0 = [s1]
223 Xm = [s1]
224 table = [(s1 , '1') ,(s2 , '2')]
225 G7 = fsa(X,E,T,X0,Xm, table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      Valida\c{c}\~{a}o')
226 #draw(G7)
227

```

```

228 #Efetivar Movimentacoes
229 syms('iEfetivacao fEfetivacao')
230 X = [s1, s2]
231 E = [iEfetivacao, fEfetivacao]
232 Ec = [iEfetivacao]
233 T = [(s1, iEfetivacao, s2), (s2, fEfetivacao, s1)]
234 X0 = [s1]
235 Xm = [s1]
236 table = [(s1, '1'), (s2, '2')]
237 G8 = fsa(X, E, T, X0, Xm, table=table, Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      Efetivar movimenta\c{c}\~{o}es')
238 #draw(G8)
239
240 #Interfaces
241 syms('iInterface fInterface')
242 X = [s1, s2]
243 E = [iInterface, fInterface]
244 Ec = [iInterface]
245 T = [(s1, iInterface, s2), (s2, fInterface, s1)]
246 X0 = [s1]
247 Xm = [s1]
248 table = [(s1, '1'), (s2, '2')]
249 G9 = fsa(X, E, T, X0, Xm, table=table, Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      Interfaces')
250 #draw(G9)
251
252 #Movimentacoes
253 syms('iMovimentacoes fMovimentacoes')
254 X = [s1, s2]
255 E = [fMovimentacoes, fAbertura]
256 Ec = []
257 T = [(s1, fMovimentacoes, s2), (s2, fAbertura, s1)]
258 X0 = [s1]
259 Xm = [s2]
260 table = [(s1, 'DISPONIVEL'), (s2, 'INDISPONIVEL')]

```

```

261 G10 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      Movimentacoes ')
262 G10.setgraphic('verifier')
263 #draw(G10, 'figurecolor')
264
265
266 ##### Plotagem #####
267
268 ##draw(G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10)
269
270 G = G1//G2//G3//G4//G5//G6//G7//G8//G9//G10
271
272 ##### Implementacao das Restricoes Fundo de Fechamento ###
273
274 # Restricao de Status Aberto
275 X = [s1, s2, s3]
276 E = [fAbertura, fImpacto, iValidacao]
277 Ec = [iValidacao]
278 T = [(s1, fImpacto, s2), (s2, iValidacao, s3), (s3, fAbertura, s1)]
279 X0 = [s1]
280 Xm = [s1, s2, s3]
281 table = [(s1, '1'), (s2, '2'), (s3, '3')]
282 H1 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Primera restricao da validacao - Fechamento$')
283 draw(H1, 'figurecolor')
284
285 #H2-MOVIMENTACAO
286 X = [s1, s2, s3, s4, s5, s6]
287 E = [iImportacao, fImportacao, fLiquidacao, fImpacto,
      iLiquidacao, iImpacto]
288 Ec = [iLiquidacao, iImpacto, iImportacao]
289 T = [(s1, iImportacao, s2), (s2, fImportacao, s3), (s3, iLiquidacao, s4
      ), (s4, fLiquidacao, s5), (s5, iImpacto, s6), (s6, fImpacto, s1)]
290 X0 = [s1]
291 Xm = [s1, s2, s3, s4, s5, s6]

```

```

292 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' ) ,(s3 , '3' ) ,(s4 , '4' ) ,(s5 , '5' ) ,(s6 , '6' )]
293 H2 = fsa (X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Movimentacoes – Fechamento$')
294 #draw(H2)
295
296 #H3-VALORIZACAO
297 X = [s1 ,s2 ,s3]
298 E = [fAbertura , fValorizacao , iValidacao]
299 Ec = [iValidacao]
300 T = [(s1 ,fValorizacao ,s2) ,(s2 ,iValidacao ,s3) ,(s3 ,fAbertura ,s1)]
301 X0 = [s1]
302 Xm = [s1 ,s2 ,s3]
303 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' ) ,(s3 , '3' )]
304 H3 = fsa (X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Segunda restricao da validacao – Fechamento$')
305 draw(H3, 'figurecolor')
306
307 #H4-EXIGIBILIDADE
308 X = [s1 ,s2 ,s3]
309 E = [fAbertura , fExigibilidade , iValidacao]
310 Ec = [iValidacao]
311 T = [(s1 ,fExigibilidade ,s2) ,(s2 ,iValidacao ,s3) ,(s3 ,fAbertura ,s1
      )]
312 X0 = [s1]
313 Xm = [s1 ,s2 ,s3]
314 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' ) ,(s3 , '3' )]
315 H4 = fsa (X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Terceira restricao da validacao – Fechamento$')
316 draw(H4, 'figurecolor')
317
318 #H5-VALIDACAO
319 X = [s1 ,s2 ,s3]
320 E = [fValidacao ,iCalculo , fAbertura]
321 Ec = [iCalculo]
322 T = [(s1 ,fValidacao ,s2) ,(s2 ,iCalculo ,s3) ,(s3 ,fAbertura ,s1)]

```

```

323 X0 = [s1]
324 Xm = [s1 , s2 , s3]
325 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' ) ,(s3 , '3' )]
326 H5 = fsa (X,E,T,X0,Xm, table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Calculo - Fechamento$')
327 #draw(H5)
328
329 #H6-CALCULADO
330 X = [s1 , s3 , s4 , s5 , s6 , s7 , s8]
331 E = [iAbertura , fAbertura , fCalculo , iEfetivacao , fEfetivacao ,
      iInterface , fInterface]
332 Ec = [iEfetivacao , iInterface , iAbertura]
333 T = [(s1 , fCalculo , s3) ,(s3 , iEfetivacao , s4) ,(s4 , fEfetivacao , s5) ,(
      s5 , iInterface , s6) ,(s6 , fInterface , s7) ,(s7 , iAbertura , s8) ,(s8 ,
      fAbertura , s1)]
334 X0 = [s1]
335 Xm = [s7]
336 table = [(s1 , '1' ) ,(s3 , '2' ) ,(s4 , '3' ) ,(s5 , '4' ) ,(s6 , '5' ) ,(s7 , '7' )
      ,(s8 , '8' )]
337 H6 = fsa (X,E,T,X0,Xm, table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Calculado - Fechamento$')
338 #draw(H6, 'figurecolor')
339
340 #H7-Importacao
341 X = [s1 , s2]
342 E = [iImportacao , iCalculo , fAbertura]
343 Ec = [iImportacao , iCalculo]
344 T = [(s1 , iImportacao , s2) ,(s1 , iCalculo , s2) ,(s2 , fAbertura , s1) ,(s2
      , iCalculo , s2)]
345 X0 = [s1]
346 Xm = [s1 , s2]
347 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' )]
348 H7 = fsa (X,E,T,X0,Xm, table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Importacao - Fechamento$')
349 #draw(H7)

```

```

350
351 #H8- Exigibilidade
352 X = [s1 , s2 ]
353 E = [iExigibilidade , iCalculo , fAbertura]
354 Ec = [iExigibilidade , iCalculo]
355 T = [(s1 , iExigibilidade , s2) ,(s1 , iCalculo , s2) ,(s2 , fAbertura , s1)
      ,(s2 , iCalculo , s2)]
356 X0 = [s1]
357 Xm = [s1 , s2]
358 table = [(s1 , '1') ,(s2 , '2')]
359 H8 = fsa(X,E,T,X0,Xm, table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Exigibilidade - Fechamento$')
360 #draw(H8)
361
362 #H9- Valorizacao
363 X = [s1 , s2]
364 E = [iValorizacao , iCalculo , fAbertura]
365 Ec = [iValorizacao , iCalculo]
366 T = [(s1 , iValorizacao , s2) ,(s1 , iCalculo , s2) ,(s2 , fAbertura , s1) ,(
      s2 , iCalculo , s2)]
367 X0 = [s1]
368 Xm = [s1 , s2]
369 table = [(s1 , '1') ,(s2 , '2')]
370 H9 = fsa(X,E,T,X0,Xm, table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Valorizacao - Fechamento$')
371 #draw(H7)
372
373 #H10- Movimentacao
374 X = [s1 , s2]
375 E = [fMovimentacoes , fAbertura , iAbertura , iExigibilidade ,
      iImportacao , iLiquidacao , iImpacto , iValorizacao , iValidacao ,
      iInterface , iCalculo , iEfetivacao]
376 Ec = [iMovimentacoes , iAbertura , iExigibilidade , iImportacao ,
      iLiquidacao , iImpacto , iValorizacao , iValidacao , iInterface ,
      iCalculo , iEfetivacao]

```

```

377 T = [(s1, fMovimentacoes, s2), (s2, fAbertura, s1), (s2,
      iExigibilidade, s2), (s2, iImportacao, s2), (s2, iLiquidacao, s2),
378      (s2, iImpacto, s2), (s2, iValorizacao, s2), (s2, iValidacao, s2), (
      s2, iInterface, s2), (s2, iCalculo, s2), (s2, iEfetivacao, s2)
      ,(s2, iAbertura, s2)]
379 X0 = [s1]
380 Xm = [s1, s2]
381 table = [(s1, '1'), (s2, '2')]
382 H10 = fsa(X, E, T, X0, Xm, table=table, Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Movimentacao - Fechamento$')
383 #draw(H10, 'figurecolor')
384
385
386
387 ##### Plotagem #####
388
389 #draw(H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8, H9, H10)
390 HF = H1//H2//H3//H4//H5//H6//H7//H8//H9//H10
391 #draw(H)
392
393 GHF = G//HF
394 GHF = GHF.renamestates('number')
395 GHF.setgraphic('verifier')
396 print(is_cont(GHF, G))
397 print(G.Sigcon)
398
399 ##GHF_Trim = trim(GHF)
400 ##GHF_Trim.setgraphic(style = 'verifier', nodesep = 1)
401 ###draw(G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, H1, H2, H3, H4, H5, H6, GH)
402 ##print(are_langequiv(GHF_Trim, GHF))
403
404 draw(GHF, 'figurecolor')
405
406 ##draw(H7, 'figurecolor')
407 ##draw(H8, 'figurecolor')

```

```

408 ##draw(H9, 'figurecolor')
409
410 ##from AUXILIARYFUNCTIONS import compare_auto
411 ##F = load(r"D:\G251")
412 ##print(compare_auto(F,GHF))
413
414 ##save(GHF, r"D:\G253", tmx=False)
415
416 ##### Restricoes Abertura #####
417
418 #H11 - Restricao Exigibilidade
419 X = [s1 , s2]
420 E = [iExigibilidade , iCalculo , fAbertura]
421 Ec = [iExigibilidade , iCalculo]
422 T = [(s1 , iExigibilidade , s2) , (s1 , iCalculo , s2) , (s2 , iCalculo , s2) , (
      s2 , fAbertura , s1)]
423 X0 = [s1]
424 Xm = [s1 , s2]
425 table = [(s1 , '1') , (s2 , '2')]
426 H11 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Exigibilidade - Abertura$')
427 draw(H11, 'figurecolor')
428
429 #H12- Restricao Valorizacao
430 X = [s1 , s2 , s3 , s4]
431 E = [iValorizacao , fCalculo , fAbertura]
432 Ec = [iValorizacao]
433 T = [(s1 , iValorizacao , s2) , (s2 , fCalculo , s3) , (s3 , iValorizacao , s4)
      ,(s4 , fAbertura , s1)]
434 X0 = [s1]
435 Xm = [s1 , s2 , s3 , s4]
436 table = [(s1 , '1') , (s2 , '2') , (s3 , '3') , (s4 , '4')]
437 H12 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Valorizacao - Abertura$')
438 draw(H12, 'figurecolor')

```

```

439
440 #H13 - Restricao Validacao 1
441 X = [s1 , s2 , s3 ]
442 E = [ fValorizacao , iValidacao , fAbertura ]
443 Ec = [ iValorizacao ]
444 T = [(s1 , fValorizacao , s2) ,(s2 , iValidacao , s3) ,(s3 , fValorizacao ,
      s3) ,(s3 , fAbertura , s1) ]
445 X0 = [s1 ]
446 Xm = [s1 , s2 , s3 ]
447 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' ) ,(s3 , '3' ) ]
448 H13 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Validacao 1 - Abertura$ ')
449 draw(H13)
450
451 #H14- Restricao Validacao 2
452 X = [s1 , s2 , s3 ]
453 E = [ fExigibilidade , iValidacao , fAbertura ]
454 Ec = [ iValidacao ]
455 T = [(s1 , fExigibilidade , s2) ,(s2 , iValidacao , s3) ,(s3 , fAbertura , s1
      ) ]
456 X0 = [s1 ]
457 Xm = [s1 , s2 , s3 ]
458 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' ) ,(s3 , '3' ) ]
459 H14 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Validacao 2 - Abertura$ ')
460 #draw(H14)
461
462 #H15- Restricao Calculo
463 X = [s1 , s2 , s3 ]
464 E = [ fValidacao , iCalculo , fAbertura ]
465 Ec = [ iCalculo ]
466 T = [(s1 , fValidacao , s2) ,(s2 , iCalculo , s3) ,(s3 , fAbertura , s1) ]
467 X0 = [s1 ]
468 Xm = [s1 , s2 , s3 ]
469 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' ) ,(s3 , '3' ) ]

```

```

470 H15 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Calculo - Abertura$ ')
471 #draw(H15)
472
473 #H16-Restricao Movimentacao
474 X = [s1 ,s2 ,s3 ,s4 ,s5 ,s6 ,s7 ,s8 ,s9 ]
475 E = [ fCalculo , iImportacao , fImportacao , iLiquidacao , fLiquidacao
      , iImpacto , fImpacto , iEfetivacao , fEfetivacao , iAbertura ]
476 Ec = [ iImportacao , iLiquidacao , iImpacto , iEfetivacao , iAbertura ]
477 T = [(s1 , fCalculo , s2) ,(s2 , iAbertura , s1) ,(s2 , iImportacao , s3) ,(s3
      , fImportacao , s4) ,(s4 , iLiquidacao , s5) ,(s5 , fLiquidacao , s6) ,(s6
      , iImpacto , s7)
478      ,(s7 , fImpacto , s8) ,(s8 , iEfetivacao , s9) ,(s9 , fEfetivacao , s2) ]
479 X0 = [s1 ]
480 Xm = [s1 ,s2 ,s3 ,s4 ,s5 ,s6 ,s7 ,s8 ,s9 ]
481 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' ) ,(s3 , '3' ) ,(s4 , '4' ) ,(s5 , '5' ) ,(s6 , '6' )
      ,(s7 , '7' ) ,(s8 , '8' ) ,(s9 , '9' ) ]
482 H16 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Movimentacao - Abertura$ ')
483 #draw(H16)
484
485 #H17-Restricao Interface 1
486 X = [s1 ,s2 ,s3 ]
487 E = [ fEfetivacao , iInterface , iImportacao , fAbertura ]
488 Ec = [ iInterface , iImportacao ]
489 T = [(s1 , fEfetivacao , s2) ,(s1 , iImportacao , s1) ,(s2 , iInterface , s3)
      ,(s3 , fAbertura , s1) , (s2 , iImportacao , s1) ]
490 X0 = [s1 ]
491 Xm = [s1 ,s2 ,s3 ]
492 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' ) ,(s3 , '3' ) ]
493 H17 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Interface 1 - Abertura$ ')
494 #draw(H17)
495
496 #H18-Restricao Interface 2

```

```

497 X = [s1 , s2 , s3 , s4 ]
498 E = [ fValorizacao , iInterface , fAbertura ]
499 Ec = [ iInterface ]
500 T = [(s1 , fValorizacao , s2) ,(s2 , fValorizacao , s3) ,(s3 , iInterface ,
      s4) ,(s4 , fAbertura , s1) ]
501 X0 = [s1 ]
502 Xm = [s1 , s2 , s3 , s4 ]
503 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' ) ,(s3 , '3' ) ,(s4 , '4' ) ]
504 H18 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Interface 2 - Abertura$ ')
505 #draw(H4)
506
507 #H19-Restricao Abertura
508 X = [s1 , s2 , s3 ]
509 E = [ fInterface , iAbertura , fAbertura ]
510 Ec = [ iAbertura ]
511 T = [(s1 , fInterface , s2) ,(s2 , iAbertura , s3) ,(s3 , fAbertura , s1) ]
512 X0 = [s1 ]
513 Xm = [s2 ]
514 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' ) ,(s3 , '3' ) ]
515 H19 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Abertura - Abertura$ ')
516 #draw(H4)
517
518 #H20-Restricao Interface 1
519 X = [s1 , s2 , s4 , s5 ]
520 E = [ fMovimentacoes , iInterface , iImportacao , fAbertura ]
521 Ec = [ iInterface , iImportacao ]
522 T = [(s1 , iImportacao , s1) ,(s1 , fMovimentacoes , s2) ,(s2 , iImportacao
      , s4) ,(s4 , iInterface , s5) , (s5 , fAbertura , s1) ]
523 X0 = [s1 ]
524 Xm = [s1 , s2 , s4 , s5 ]
525 table = [(s1 , '1' ) ,(s2 , '2' ) ,(s4 , '3' ) ,(s5 , '4' ) ]
526 H20 = fsa(X,E,T,X0,Xm,table=table , Sigcon=Ec, Sigobs=Ec, name='
      $Restricao Interface 1 - Abertura$ ')

```

```
527 #draw(H20)
528
529 #draw(H11, H12, H13, H14, H15, H16, H17, H18, H19, H20)
530 HA = H11//H12//H13//H14//H15//H16//H17//H18//H19//H20
531
532 GHA = G//HA
533 GHA = GHA.renamestates('number')
534 GHA.setgraphic('verifier')
535 print(is_cont(GHA,G))
536 print(G.Sigcon)
537
538 GHA_Trim = trim(GHA)
539 GHA_Trim.setgraphic(style = 'verifier', nodesep = 1)
540
541 print(compare_auto(GHA,GHA_Trim))
542
543 draw(GHA, 'figurecolor')
```



| ESTADOS | EVENTOS |       |        |       |      |      |       |       |        |      |      |       |       |        |      |        |       |       |       |       |       |
|---------|---------|-------|--------|-------|------|------|-------|-------|--------|------|------|-------|-------|--------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | iValo.  | iLiq. | fVali. | fLiq. | fAb. | iEf. | iInt. | fMov. | fValo. | fEf. | fEx. | fImp. | iImp. | iImpa. | iAb. | fImpa. | fCal. | iExi. | iCal. | fInt. | iVali |
| 18      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | 19    | N/D   |
| 19      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | 20    | N/D   |
| 20      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | 0    | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 21      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 22   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | 10     | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 22      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | 11     | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 23      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 24   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 21   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 24      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 22     | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 25      | N/D     | N/D   | N/D    | 23    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 26   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 26      | N/D     | N/D   | N/D    | 24    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 27      | N/D     | 25    | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 28   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 28      | N/D     | 26    | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 29      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 30   | N/D  | N/D   | 27    | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 30      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | 28    | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 31      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 32   | N/D  | N/D   | N/D   | 29     | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 32      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | 30    | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 33      | 49      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 4     | 34    | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 34      | 47      | 35    | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 5     | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 35      | 45      | N/D   | N/D    | 36    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 6     | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 36      | 43      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 7     | N/D   | N/D    | 37   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 37      | 41      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 8     | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 38      | 39      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 9     | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 39      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 40   | N/D  | 10    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 40      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 11    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 41      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 42   | N/D  | 21    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | 39    | N/D   |
| 42      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 22    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 43      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 44   | N/D  | 23    | N/D   | N/D    | 41   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 44      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 24    | N/D   | N/D    | 42   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 45      | N/D     | N/D   | N/D    | 43    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 46   | N/D  | 25    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 46      | N/D     | N/D   | N/D    | 44    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 26    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 47      | N/D     | 45    | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 48   | N/D  | 27    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 48      | N/D     | 46    | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 28    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 49      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 50   | N/D  | 29    | 47    | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 50      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 30    | 48    | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 51      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 52   | N/D  | 31    | N/D   | 49     | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 52      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 32    | N/D   | 50     | N/D  | N/D    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 53      | 69      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 54    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 33    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 54      | 67      | 55    | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 34    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 55      | 65      | N/D   | N/D    | 56    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 35    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 56      | 63      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 57   | N/D    | N/D   | N/D   | 36    | N/D   | N/D   |
| 57      | 61      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 58   | N/D    | 37    | N/D   | N/D   | N/D   | N/D   |
| 58      | 59      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 38    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 59      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 60   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 39    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 60      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 40    | N/D   | N/D   | N/D   |

| ESTADOS | EVENTOS |       |        |       |      |      |       |       |        |      |      |       |       |        |      |        |       |       |       |       |       |
|---------|---------|-------|--------|-------|------|------|-------|-------|--------|------|------|-------|-------|--------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | iValo.  | iLiq. | fVali. | fLiq. | fAb. | iEf. | iInt. | fMov. | fValo. | fEf. | fEx. | fImp. | iImp. | iImpa. | iAb. | fImpa. | fCal. | iExi. | iCal. | fInt. | iVali |
| 61      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 62     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | 59     | N/D   | 41    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 62      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | 60     | N/D   | 42    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 63      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 64     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 61     | N/D  | N/D    | N/D   | 43    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 64      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 62     | N/D  | N/D    | N/D   | 44    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 65      | N/D     | N/D   | N/D    | 63    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 66     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 45    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 66      | N/D     | N/D   | N/D    | 64    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 46    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 67      | N/D     | 65    | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 68     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 47    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 68      | N/D     | 66    | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 48    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 69      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 70     | N/D  | N/D  | 67    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 49    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 70      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 68    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 50    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 71      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 72     | N/D  | N/D  | N/D   | 69    | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 51    | N/D   | N/D   | N/D   |
| 72      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 70    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D    | N/D   | 52    | N/D   | N/D   | N/D   |





| ESTADOS | EVENTOS |       |        |       |       |      |       |       |        |      |      |       |       |        |       |        |      |      |       |       |        |
|---------|---------|-------|--------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------|------|-------|-------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|--------|
|         | iValo.  | iLiq. | fVali. | fLiq. | fAbe. | iEf. | iInt. | fMov. | fValo. | fEf. | fEx. | fImp. | iImp. | iImpa. | iAbe. | fImpa. | fCa. | iEx. | iCal. | fInt. | iVali. |
| 61      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | 36    | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 62      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 60   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 63      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | 61   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 64      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | 62   | N/D   | N/D   | 65     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 65      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | 63   | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 66      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | 67     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | 64     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 67      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | 65     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 68      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | 69     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 66     | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 69      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 67     | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 70      | N/D     | N/D   | N/D    | 68    | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | 71     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 71      | N/D     | N/D   | N/D    | 69    | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 72      | N/D     | 70    | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | 73     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 73      | N/D     | 71    | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 74      | 92      | N/D   | N/D    | 75    | N/D   | N/D  | N/D   | 54    | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 75      | 93      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 55    | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 76     | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 76      | 94      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 56    | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | 77     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 77      | 95      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | 78    | N/D   | 57     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 78      | 96      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 58    | N/D    | 79   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 79      | 80      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 59    | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | 51    | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 80      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 60    | 81     | N/D  | N/D  | N/D   | 90    | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 81      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 61    | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | 82    | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 82      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 89    | N/D    | N/D  | N/D  | 83    | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 83      | N/D     | 84    | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 73    | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 84      | N/D     | N/D   | N/D    | 85    | N/D   | N/D  | N/D   | 71    | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 85      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 69    | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 86     | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 86      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 67    | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | 87     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 87      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | 88   | N/D   | 65    | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 88      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 63    | N/D    | 81   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 89      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | 73    | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 90      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 97    | 82     | N/D  | N/D  | 91    | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 91      | N/D     | 92    | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 72    | 83     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 92      | N/D     | N/D   | N/D    | 93    | N/D   | N/D  | N/D   | 70    | 84     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 93      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 68    | 85     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | 94     | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 94      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 66    | 86     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | 95     | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 95      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | 96    | N/D   | 64     | 87   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 96      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 62    | 88     | 80   | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 97      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | 89     | N/D  | N/D  | 72    | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 98      | 97      | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | N/D   | 89     | N/D  | N/D  | 72    | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 99      | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 37    | 100    | N/D  | N/D  | N/D   | 90    | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 100     | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 38    | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | 82    | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 101     | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 39    | 102    | N/D  | 45   | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 102     | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 40    | N/D    | N/D  | 46   | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 103     | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 41    | 104    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | 101  | N/D   | N/D   | N/D    |
| 104     | N/D     | N/D   | N/D    | N/D   | N/D   | N/D  | N/D   | 42    | N/D    | N/D  | N/D  | N/D   | N/D   | N/D    | N/D   | N/D    | N/D  | 102  | N/D   | N/D   | N/D    |