On going Updates

André Metelo - metelo@gmail.com
Christiano Braga - cbraga@ic.uff.br
Diego Brandão - brandaodn@gmail.com

Agenda

- Autômatos Híbridos
- Um Exemplo de Modelagem via Autômato Híbrido
- Implementação em Maude do Exemplo
- Execução do Exemplo

Autômatos Híbridos

O que é um Autômato Híbrido?

É um modelo dentro da teoria de autômatos que permite modelar, de forma precisa, sistemas em que processos computacionais interagem com processos físicos, e portanto analogicos por natureza.

Um autômato híbrido é uma "Finite State Machine" associado a um conjunto finito de variáveis que podem ser descritas através de equações diferenciais ordinárias - tipicamente variando no tempo.

Formalmente Temos:

Definindo *"affine"* no contexto de um AH:

Dado as variáveis $\{x_1, x_2,...,x_n\}$ um teste é dito affine se ele é da forma : $a_1x_1 + a_2x_2 + .. + a_nx_n \sim 0$, e $\sim$ pode ser: $< \leq = > \geq$.

Da mesma forma, uma atribuição é dita affine se ela e da forma: $x_i = a_1x_1 + a_2x_2 + .. + a_nx_n$

Sendo $a_1, a_2,..,a_n$ constantes inteiras ou reais.

Um autômato híbrido AH, consiste de:

1. Um processo assíncrono P, que possui variáveis de estado contínuas que aparecem apenas em testes atribuições e atualizações "affine"*.
2. Um teste booleano, contínuo e invariante no tempo (CI), das variáveis de estado S que quando contínuas apenas aparecem em testes "affine".
3. Uma taxa de restrição (RC), que é um teste booleano "affine", que combina variáveis contínuas e suas derivadas assim como as variáveis discretas.

Note que as entradas, saídas, estados, inicialização e saídas do AH são as idênticas às do processo P.

Dessa forma, dado um estado s, e um intervalo de tempo $\delta > 0$, então: $s \xrightarrow{\delta} s + \delta r$, é uma ação de AH para um vetor r, composto de constantes r_x para cada variável contínua x se a RC é satisfeita para todas as variáveis x; e se o estado $s + tr$ satisfaz CI para qualquer t que satisfaz: $0 < t < \delta$.

Alguns exemplos de CPS modelados por AH

- Termostato
- Cruise Control de Automóvel
- Piloto Automático de Avião

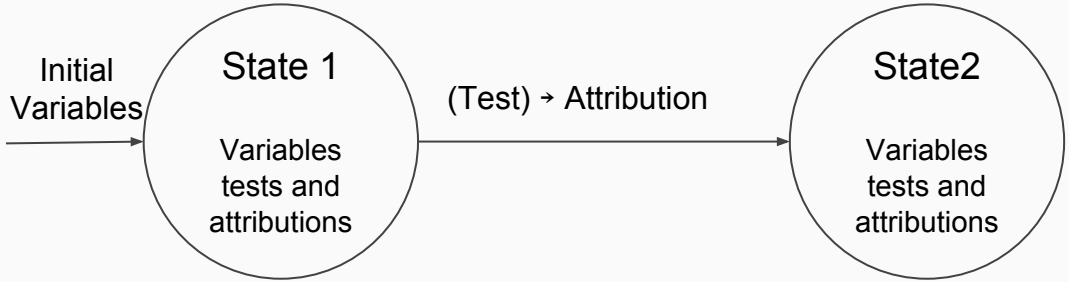
Notação de um Autônomo Híbrido

Onde:

Cada círculo representa um estado definido no Autônomo

Uma seta sem conexão de origem a um estado representa um conjunto de entradas para o Autônomo

Uma seta conectando dois estados representa a transição de um estado para o outro caso o Teste (variável booleana) seja verdadeiro. Se a transição ocorrer então as variáveis listadas em Atribuições tem seus valores atualizados



Notação de um Autônomo Híbrido (cont.)

- Tipicamente um estado tem um label significativo para o AH.
- Testes e atribuições são esperados de estar na forma *"affine"*
- Variáveis podem ser representadas pelo próprio label, ou sua derivada sendo denotada pela label com um ponto em cima
- Os Estados não precisam ser necessariamente representados por um círculo. Em geral é óbvio qual forma geométrica representa um estado

Exemplo de Autônomo Híbrido

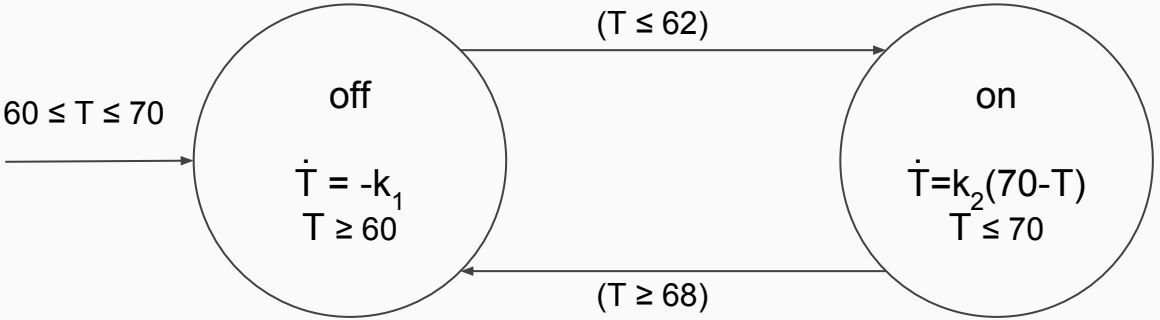
Termostato para manter Temperatura de uma sala entre 60F e 70F.

A entrada e um valor de T entre 60 e 70.

Enquanto o sistema está no estado "off" a sala perde temperatura a uma taxa constante.

Se a temperatura atinge 62, o sistema passa para o estado "on" onde a temperatura sobe via uma constante multiplicada pela diferença de 70 para T.

Se a temperatura atinge 68, o sistema passa para o estado "off" e o ciclo se repete



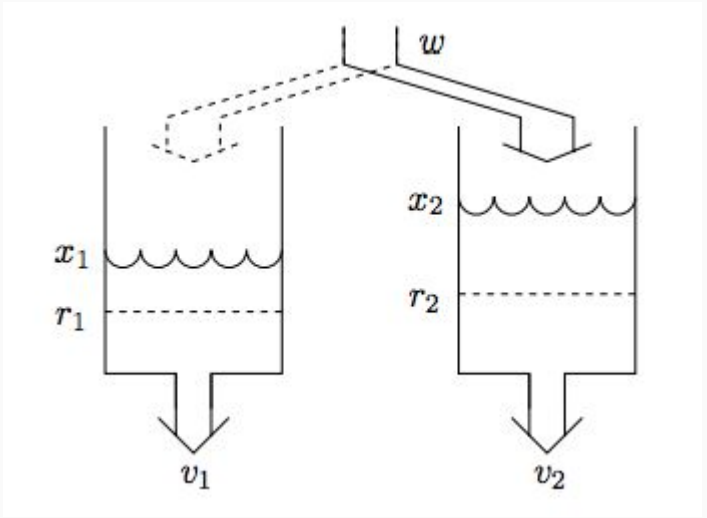
Modelagem de um CPS via Autômato Híbrido

Modelagem de Sistema de Controle de Volume de Água

- **Essa modelagem foi desenvolvida por Diego Brandão da CEFET/RJ**
- O autômato visa garantir que o volume de água em dois tanques, furados, acima de um volume mínimo através de uma mangueira que insere água no sistema.
- A mangueira pode ser movida de um tanque para outro instantaneamente.

O Modelo

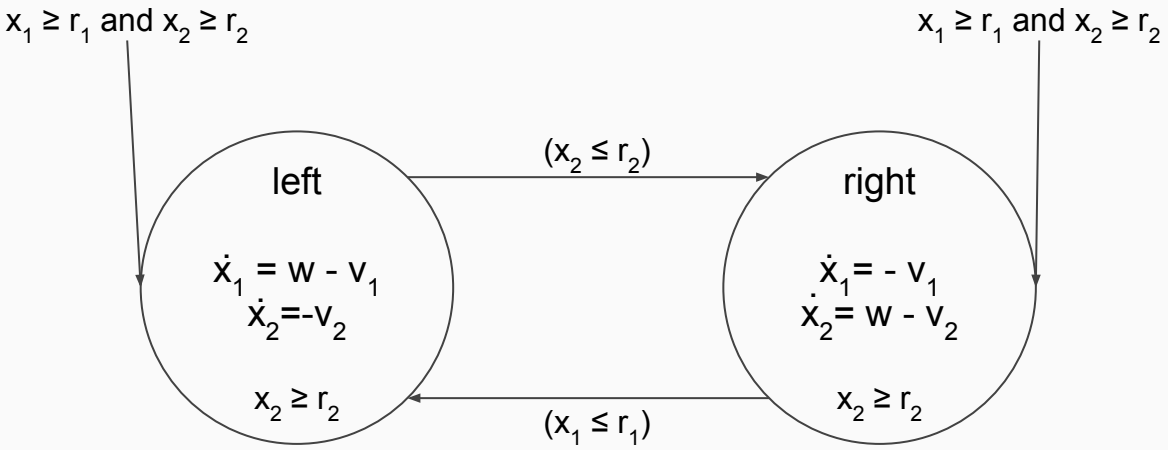
- Temos dois tanques vazando a uma taxa constante.
- Água e adicionada a uma taxa constante através de uma mangueira dedicada a um tanque em um dado momento no tempo.
- A qualquer instante a mangueira pode ser movida instantaneamente de um tanque para o outro



O Autônomo Híbrido

Onde:

- $\mathbf{x_1}$ e $\mathbf{x_2}$ representam os volumes de água no tanque 1 e 2
- $\mathbf{r_1}$ e $\mathbf{r_2}$ são os limites mínimo da água nos tanques 1 e 2
- **w** o fluxo de água adicionado pela mangueira
- $\mathbf{v_1}$ e $\mathbf{v_2}$ são o volume de água escoados dos tanques 1 e 2



A Implementação do Autômato em Real Time Maude

Sobre Real-Time Maude

- **Real-Time Maude é uma extensão de Full Maude que permite evolução no tempo de sistemas.**
- Full maude, por sua vez, é uma extensão de Maude.
- Já Maude, é uma linguagem/sistema que suporte lógica de reescrita e equações com uso em diversas áreas.
    - Não é do escopo dessa apresentação discutir a linguagem maude

RT Maude Source para o Sistema de Reservatórios

```
(tmod RESERVOIR is
      protecting POSRAT-TIME-DOMAIN .*** Dense time domain

      sort Hose .
      ops left right : -> Hose [ctor] .
      ops w v1 v2 r1 r2 : -> NNegRat .
      op _`,_`,_ : Hose NNegRat NNegRat -> System [ctor] .

      vars x1 x2 : NNegRat .
      var R : Time .
      crl [moveright] : left,x1,x2 => right,x1,x2
            if x2 <= r2 .
      crl [moveleft] : right,x1,x2 => left,x1,x2
            if x1 <= r1 .

      crl [tick-right] :
            {right, x1, x2} =>
            {right, x1 - (v1 * R), x2 + ((w - v2) * R)} in time R
                  if x1 > r1 [nonexec] .

      crl [tick-left] :
            {left, x1, x2} =>
            {left, x1 + ((w - v1) * R), x2 - (v2 * R)} in time R
                  if x2 > r2 [nonexec] .
endtm)
```

Executando o Código do Exemplo

Verificação Formal: Search

```
Timed search in TEST
{right,30,30} =>* {S:System}
in time <= 4 and with mode default time increase 1 :

Solution 1
      S:System --> right,30,30 ; TIME_ELAPSED:Time --> 0
Solution 2
      S:System --> right,25,35 ; TIME_ELAPSED:Time --> 1
Solution 3
      S:System --> right,20,40 ; TIME_ELAPSED:Time --> 2
Solution 4
      S:System --> right,15,45 ; TIME_ELAPSED:Time --> 3
Solution 5
      S:System --> left,15,45 ; TIME_ELAPSED:Time --> 3
Solution 6
      S:System --> left,20,40 ; TIME_ELAPSED:Time --> 4

No more solutions
```

Verificação Formal: Execução até um tempo X finito

```
Timed rewrite  {right,30,30} in RESERVATORIO with mode
default time increase 1 in time <= 12345

Result ClockedSystem :
  {right,45,15} in time 12345
```

Update de 2017-10-04

Implementação do *n-reservoir* em Maude

- A generalização do problema dos reservatórios foi Implementado
  - Permitia um número finito de reservatórios que é determinado durante a execução
- A solução não era elegante e limitada
  - Forçava reservatórios com mesma características físicas
  - Código confuso
    - As sorts não estavam bem definidas
    - Muitas recursões nas funções
- Utilizava a mesma representação do modelo de 2 reservatórios

Christiano ao Resgate

- Nova versão com código utilizando as capacidade de Maude de melhor maneira
  - Uso "pattern match" do Maude para reduzir recursão
  - Nova codificação para o sistema de reservatórios
    - Características individuais para os reservatórios
    - **{ hose(10, 0) < 0 | thr: (15, 50), hth: 30, rte: 5 > < 1 | thr: (15, 50), hth: 30, rte: 5 > }**
  - Organização das sorts
- Inclui implementação de Model Checker para os reservatórios
- **Disponível em: http://mycioxp.gotdns.org:8081/OpenSource/Resevoir.git**

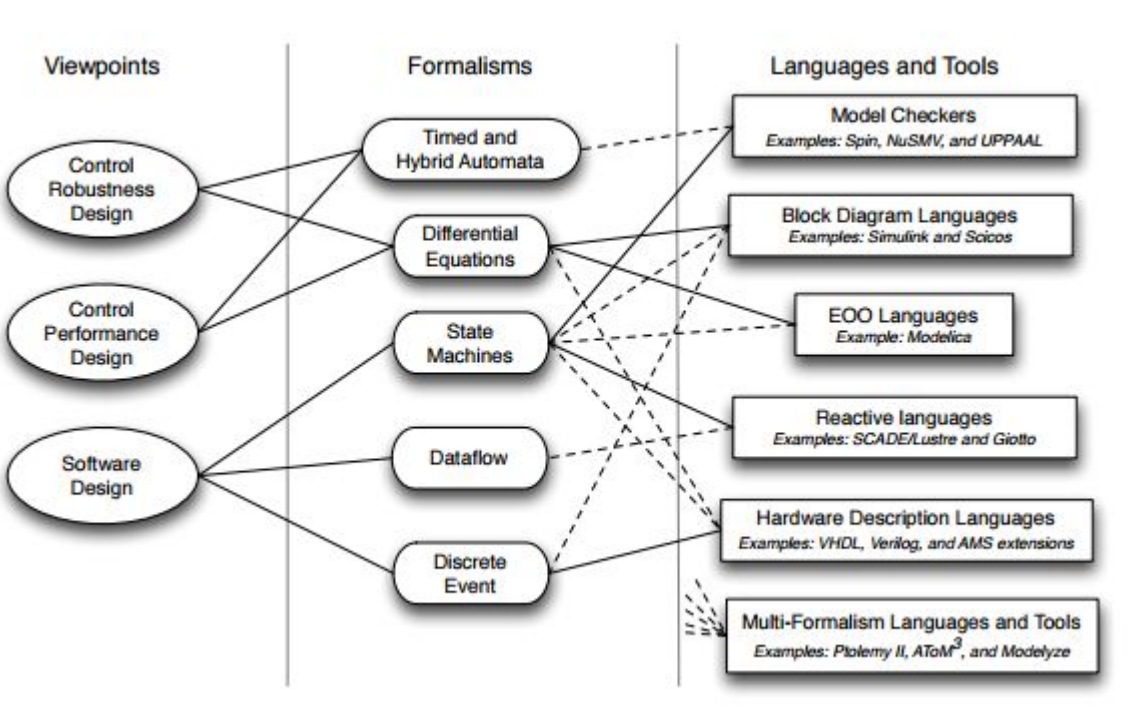
Preparando um Artigo Sobre o Trabalho

- Apresentar o modelo como um tutorial de Maude para modelagem de CPS
  - Através de LHA + Maude
- Inicio do trabalho de identificar, qualificar e quantificar diferentes métodos de especificação, design e model check de CPS.
  - Idealmente servirá como base para um processo unificado para "projeto" de CPS

Vista dos Métodos de "projeto" de CPS

Em: ***Viewpoints, Formalisms, Languages, and Tools for Cyber-Physical Systems***, David Broman et al em 2012

Esse não é um grafo extensivo das opções



Próximos Passos

- Finalizar o artigo
- Modificar o modelo do n-reservatórios para possuirmos uma mangueira com latência na mudança de um reservatório para outro.
- Identificar outro problemas para serem modelados com outros métodos
  - Water Boiler
  - Robo seguindo um path

Update de 2017-10-26

Agenda

- Automated Guided Vehicle como um CPS
- Extensão do modelo de 2-reservatórios com mangueira com latência na mudança de um reservatório para outro.

Modelagem de Automated Guided Vehicle

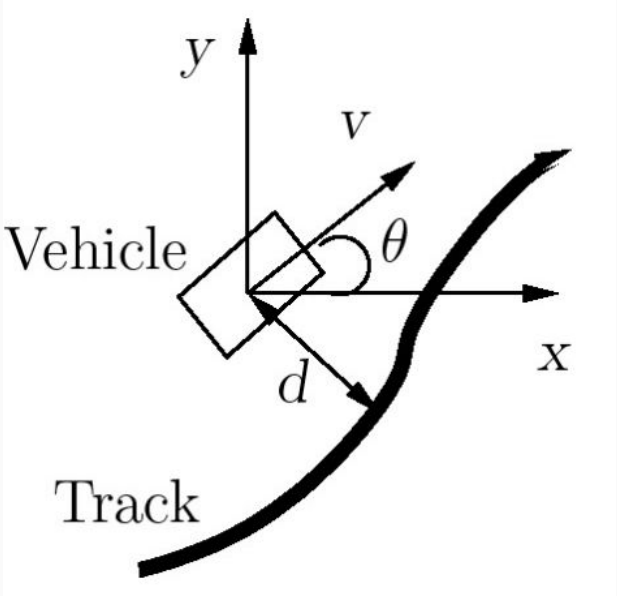
- **Essa modelagem foi apresentada por Alur em Principles of Cyber Physical Systems**

- O autômato visa garantir que um carrinho nunca se distancie mais que uma distância pré-determinada de um caminho.
  - O carrinho não conhece o caminho

- Não é escopo do modelo a tecnologia usado pelo carrinho para identificar a distância ao caminho.
  - E assumido q é possível medir a distância do ponto atual para o caminho

O Modelo

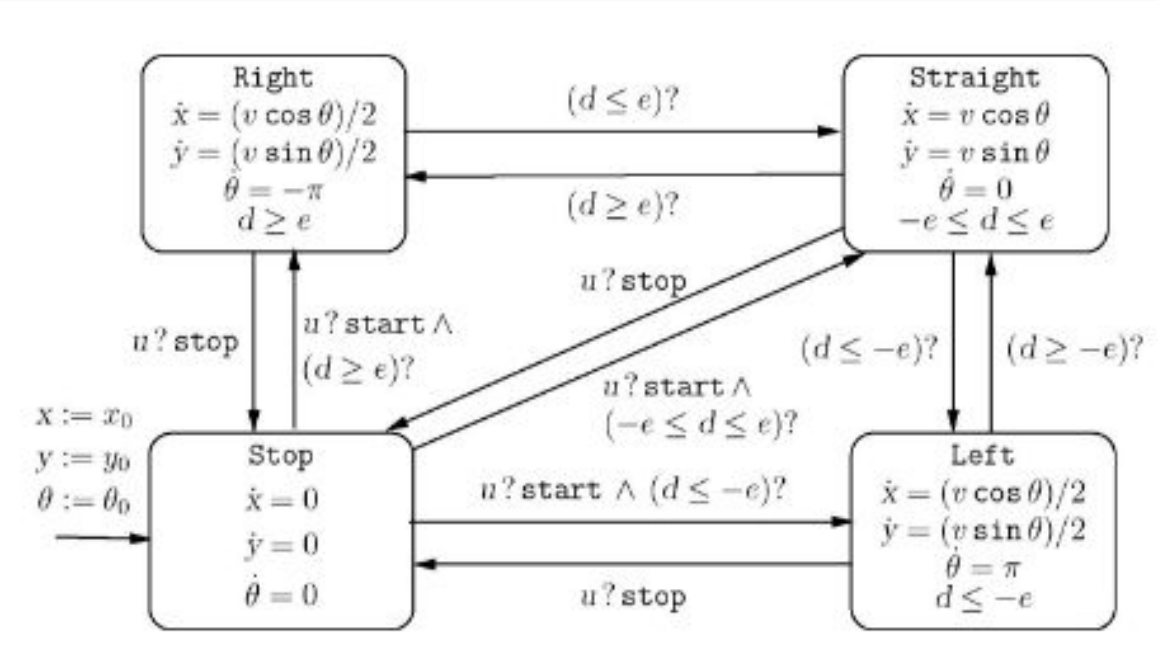
- O carro é tratado como um corpo rígido em movimento num plano
- O carro pode mover em linha reta com velocidade *v* ou rodar um ângulo *ω* e mover *v/2*.
- O par *(x,y)* representa a posição do carrinho em relação ao eixo de referência que também é usado pelo caminho definido para o carro seguir. *θ* representa o ângulo de inclinação do carrinho em relação ao eixo *X*.
- O tempo para executar a rotação e mudança de velocidade é instântaneo.



O Autônomo Híbrido

Onde:

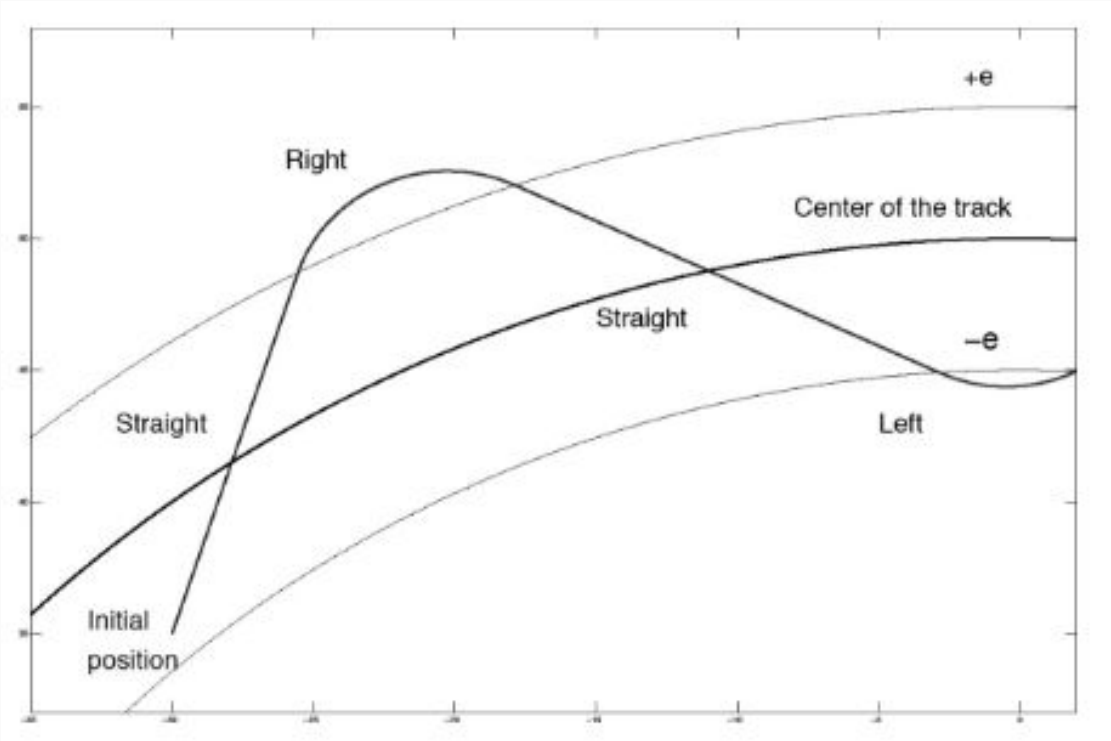
- **(x,y)** - posição do carro no plano
- ***θ*** - ângulo do carrinho e o eixo X.
- **v** velocidade linear do carrinho
- **d** - distância do carrinho para o caminho
- **e** - distância máxima desejada da pista.
- **u** - estado do motor do carrinho (start/stop)



Caminho Esperado

- Dado um path, e os parametros do carrinho, é esperado um comportamento do seguinte tipo para o modelo:

- Note que no pior caso, podemos ter $d = e + v$



Implementação em RT-Maude

- E um autômato mais complexo que o 2-reservatórios:
  - 4 estados
  - 10 transições
  - Mais variáveis para controlar.

- Versão 0.1 feita, ainda precisa ser modelada e model-checked.
  - Em processo de execução

Extensão do modelo de 2 reservatórios

- **O objetivo e modelar o problema de 2 reservatórios com uma mangueira que não move instantaneamente.**
  - A mangueira passa a ter mais estados.
  - identificar um sistema bem formado (com a vazão de entrada = a soma das vazões de saída) fica mais complicado devido a períodos em que água não entra no sistema.

- Criamos 2 novos estados para a mangueira:
  - ***movingleft***
  - ***movingRight***
  - Esses estados acontecem instantaneamente. Daí duas novas regras temporais transicionam para ***left*** e ***right*** e fazem a drenagem dos reservatórios.

Modificação no Código original

Modifications:

```
ops left right movingleft movingright : -> Hose [ctor
```

```
crl [moveright] : left,x1,x2 =>  movingright,x1,x2
      if x2 <= r2 .
crl [moveleft] : right,x1,x2 =>  movingleft,x1,x2
      if x1 <= r1 .
```

New Rules:

```
rl [tick-complete-move-right] :
      {movingright, x1, x2} => {right, x1 - (v1 * R),
      x2 - ( v2 * R)} in time R [nonexec] .

rl [tick-complete-move-left] :
      {movingleft, x1, x2} => {left, x1 - (v1 * R),
      x2 - ( v2 * R)} in time R [nonexec] .
```

Modificação no Código original

```
Timed search in TEST
      {left,30,30} =>* {S:System}
in time < 5 and with mode default time increase 1 :

Solution 1
S:System --> left,30,30 ; TIME_ELAPSED:Time --> 0

Solution 2
S:System --> left,35,25 ; TIME_ELAPSED:Time --> 1

Solution 3
S:System --> left,40,20 ; TIME_ELAPSED:Time --> 2

Solution 4
S:System --> left,45,15 ; TIME_ELAPSED:Time --> 3

Solution 5
S:System --> movingright,45,15 ; TIME_ELAPSED:Time --> 3

Solution 6
S:System --> right,40,10 ; TIME_ELAPSED:Time --> 4

No more solutions
```

Próximos Passos

- Finalizar o artigo
- Modificar o modelo do n-reservatórios para possuirmos uma mangueira com latência na mudança de um reservatório para outro.
- Completar o check model do Carrinho.
- Identificar outro problemas para serem modelados com outros métodos
  - Water Boiler

Obrigado!

Perguntas?