



Análise da Viabilidade de Utilização de Técnicas de Inteligência Artificial na Otimização do Controle de Movimentação de Trens

Flávio Monteiro Rachel

Companhia do Metropolitano de São Paulo
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Paulo Sérgio Cugnasca

GAS – Grupo de Análise de Segurança
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Roteiro



- ◆ Objetivos/Motivação
- ◆ Utilização de Técnicas de IA em Sistemas de Controle
- ◆ Proposta de um Controlador Nebuloso de Trens
- ◆ Simulações Efetuadas
- ◆ Considerações Finais

Objetivos/Motivação



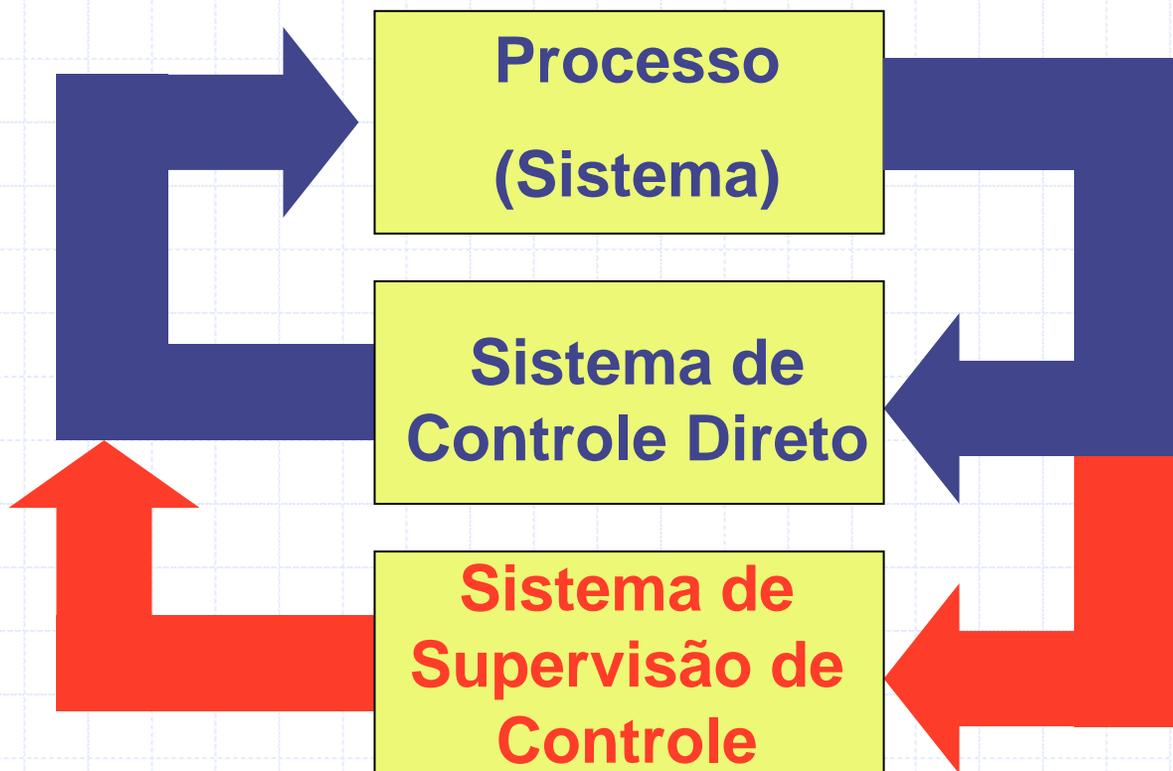
- ◆ O objetivo deste trabalho é a análise da viabilidade da utilização de técnicas de Inteligência Artificial para o controle do *headway* (intervalo entre trens) de um sistema metroviário, para atender à demanda do sistema.
- ◆ A motivação para este trabalho baseia-se na busca de alternativas para otimização dos recursos existentes, uma vez que os recursos estão destinados à ampliação da malha metroferroviária em São Paulo.
- ◆ O crescente aumento de demanda exige o aumento da capacidade do transporte público sem que haja diminuição na qualidade dos serviços.

Utilização de Técnicas de IA em Sistemas de Controle



- ◆ Nos últimos anos, técnicas de Inteligência Artificial revelaram-se eficientes alternativas aos tradicionais controladores PID (*Proportional Integral Derivative*).
- ◆ O metrô da cidade de Sendai, no Japão, utiliza um controlador com Lógica *Fuzzy*, desde 1987, revelando a viabilidade de aplicação desta técnica.
- ◆ Os sistemas de controle de movimentação de trens metroferroviários são considerados sistemas críticos de controle, por envolverem a segurança de passageiros.
- ◆ As normas europeias não recomendam a utilização de ferramentas de IA em sistemas críticos de controle, em especial em sistemas metroferroviários.

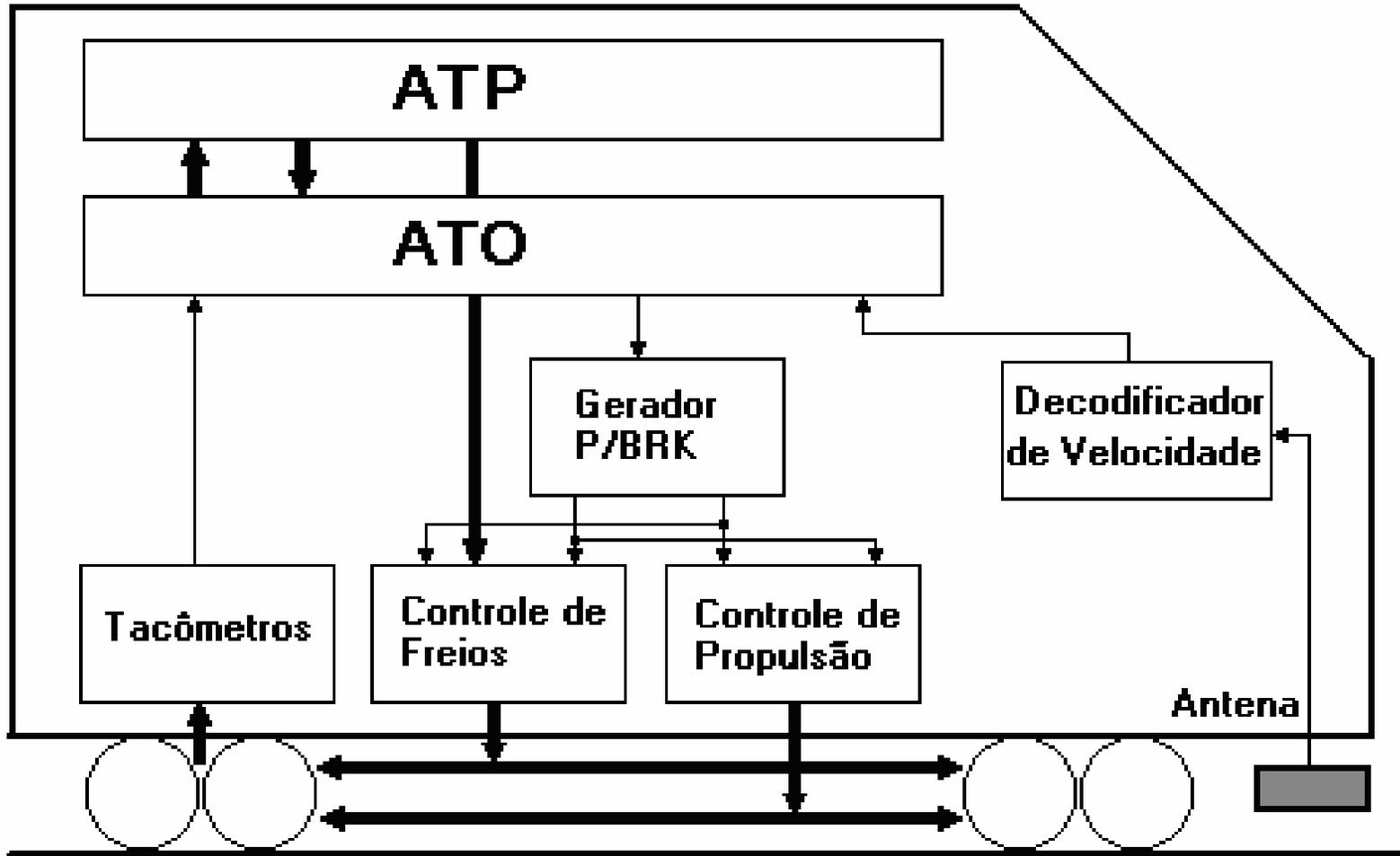
Utilização de Técnicas de IA em Sistemas de Controle



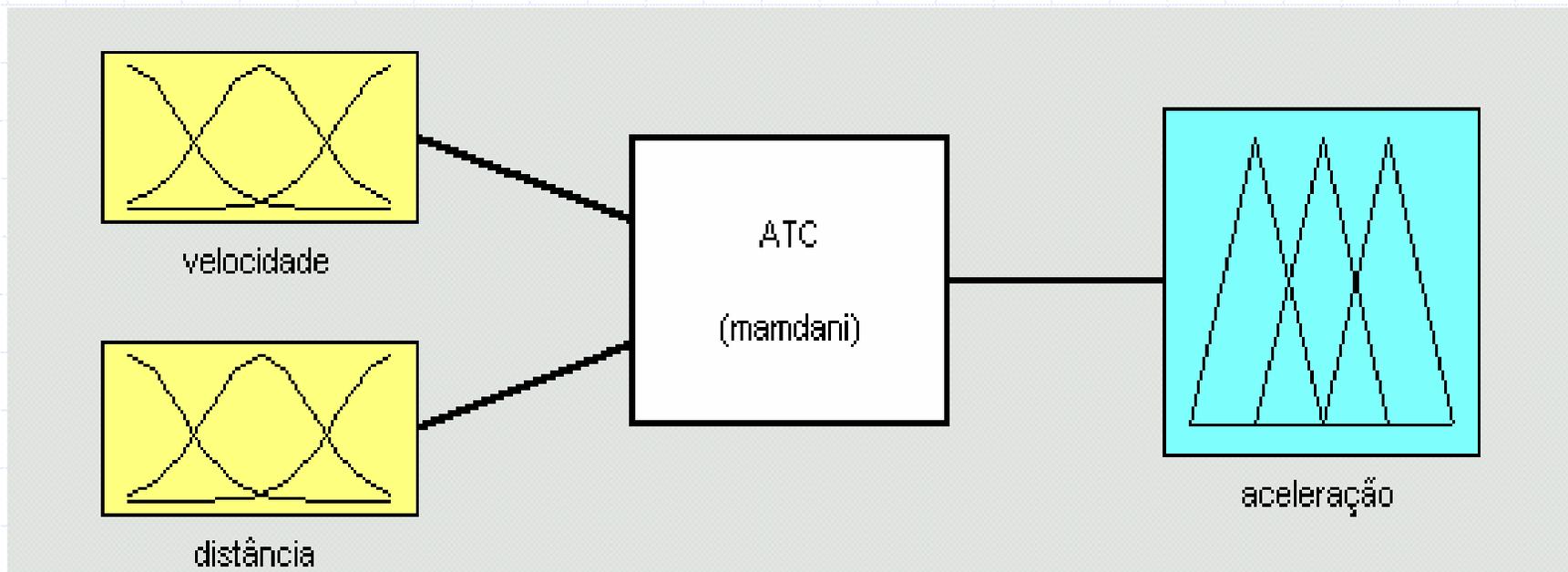
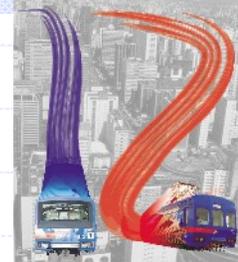
Proposta de um Controlador Nebuloso de Trens



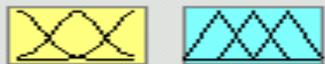
◆ Diagrama em Blocos do Sistema Proposto



Proposta de um Controlador Nebuloso de Trens



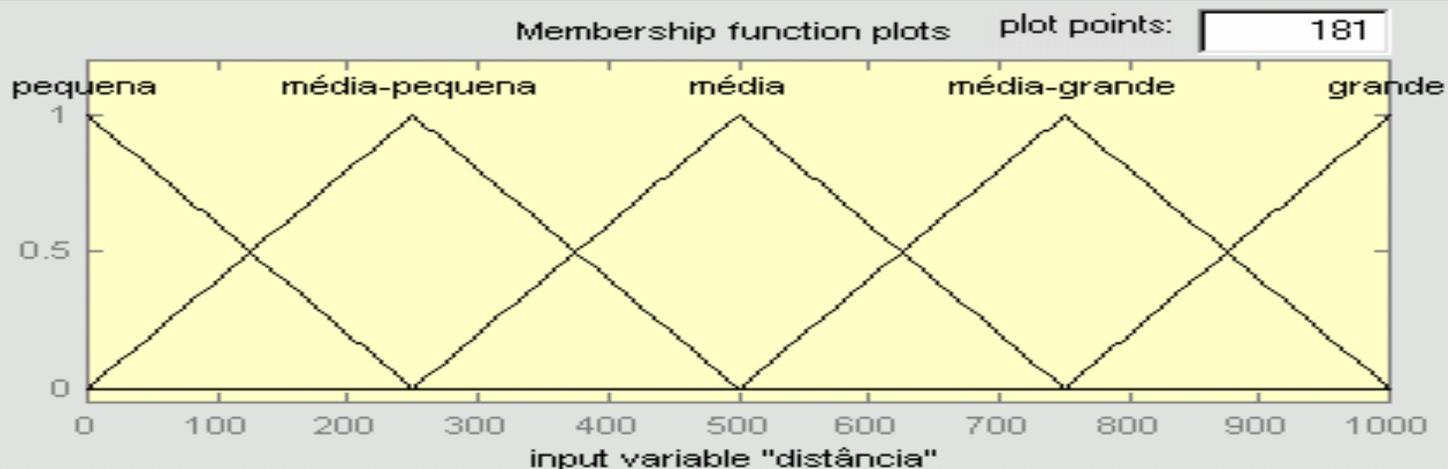
FIS Variables



velocidade e aceleração



distância



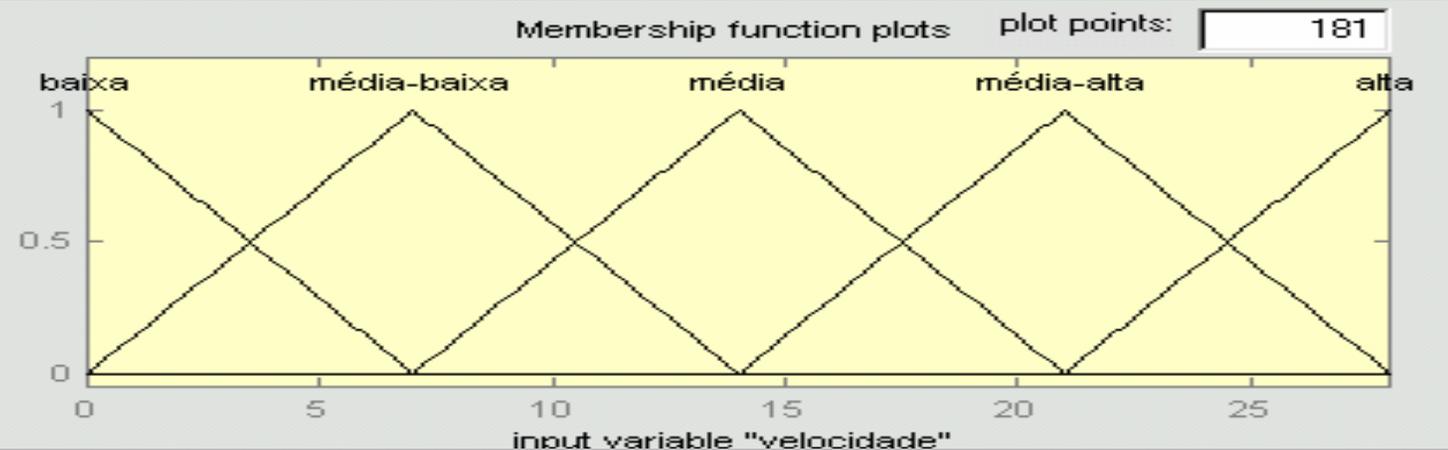
FIS Variables



velocidade e aceleração



distância



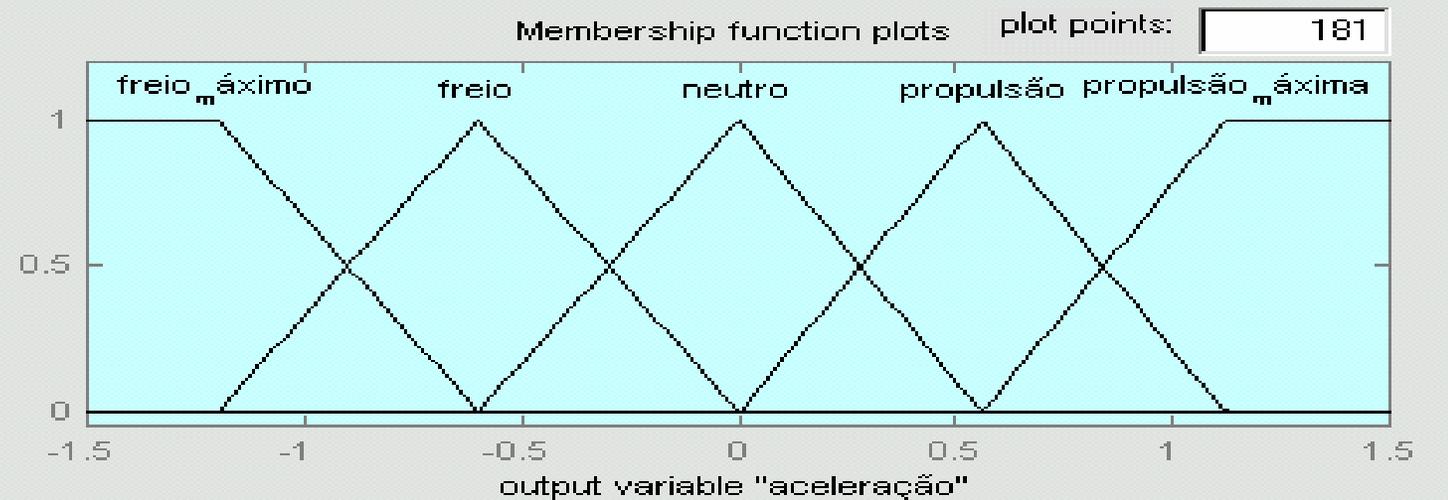
FIS Variables



velocidade e aceleração



distância

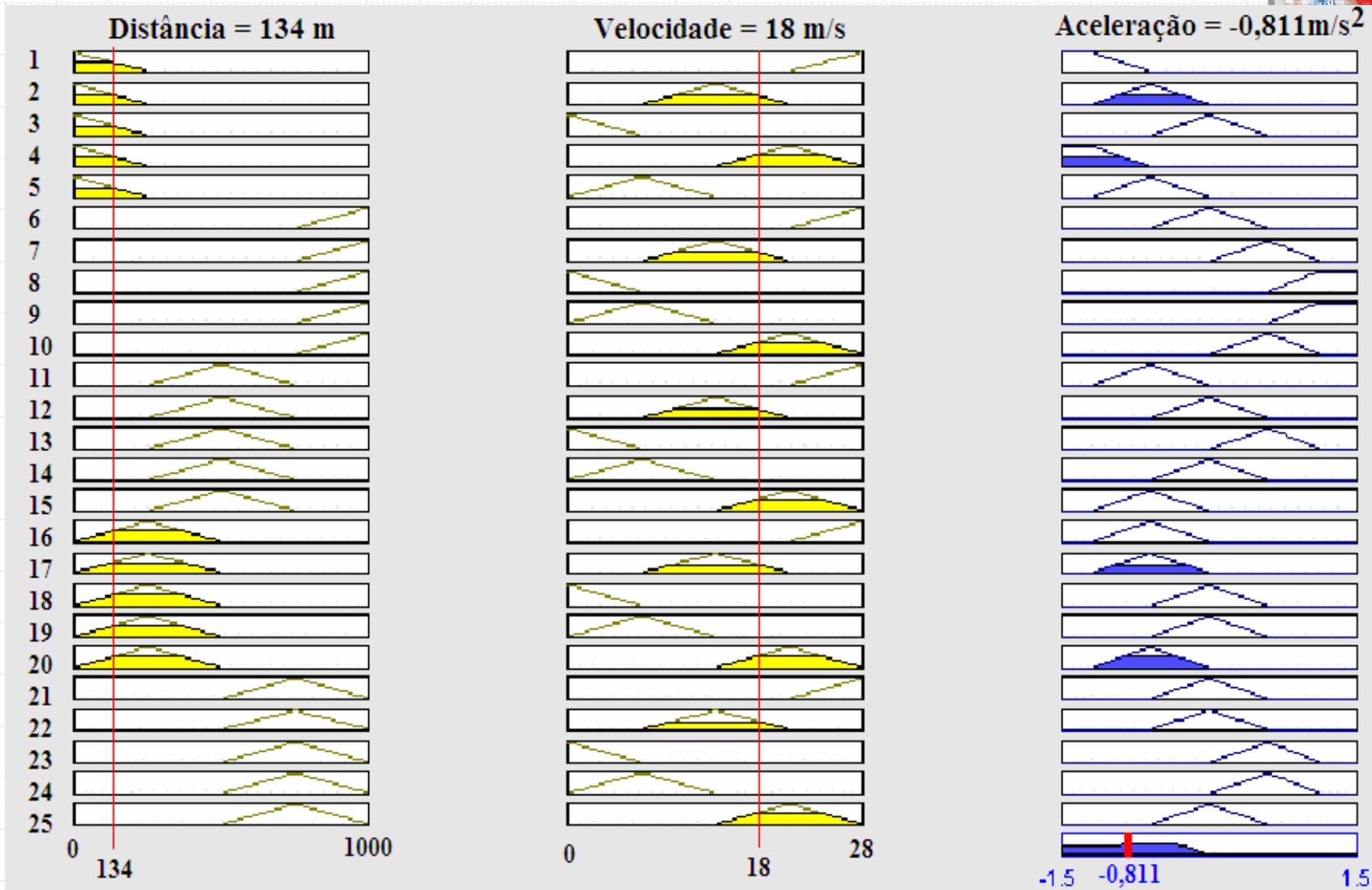
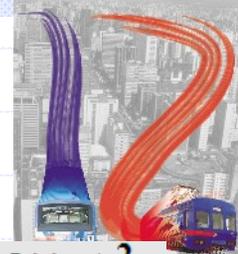


Proposta de um Controlador Nebuloso de Trens



Distância Veloc.	Pequena	Média-Pequena	Média	Média-Grande	Grande
Baixa	Freio	Neutro	Propulsão	Propulsão Máxima	Propulsão Máxima
Média-Baixa	Freio	Neutro	Propulsão	Propulsão Máxima	Propulsão Máxima
Média	Freio	Freio	Neutro	Propulsão	Propulsão
Média-Alta	Freio Máximo	Freio Máximo	Freio	Neutro	Neutro
Alta	Freio Máximo	Freio Máximo	Freio	Neutro	Neutro

Proposta de um Controlador Nebuloso de Trens



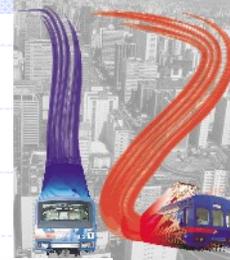
Simulações Efetuadas



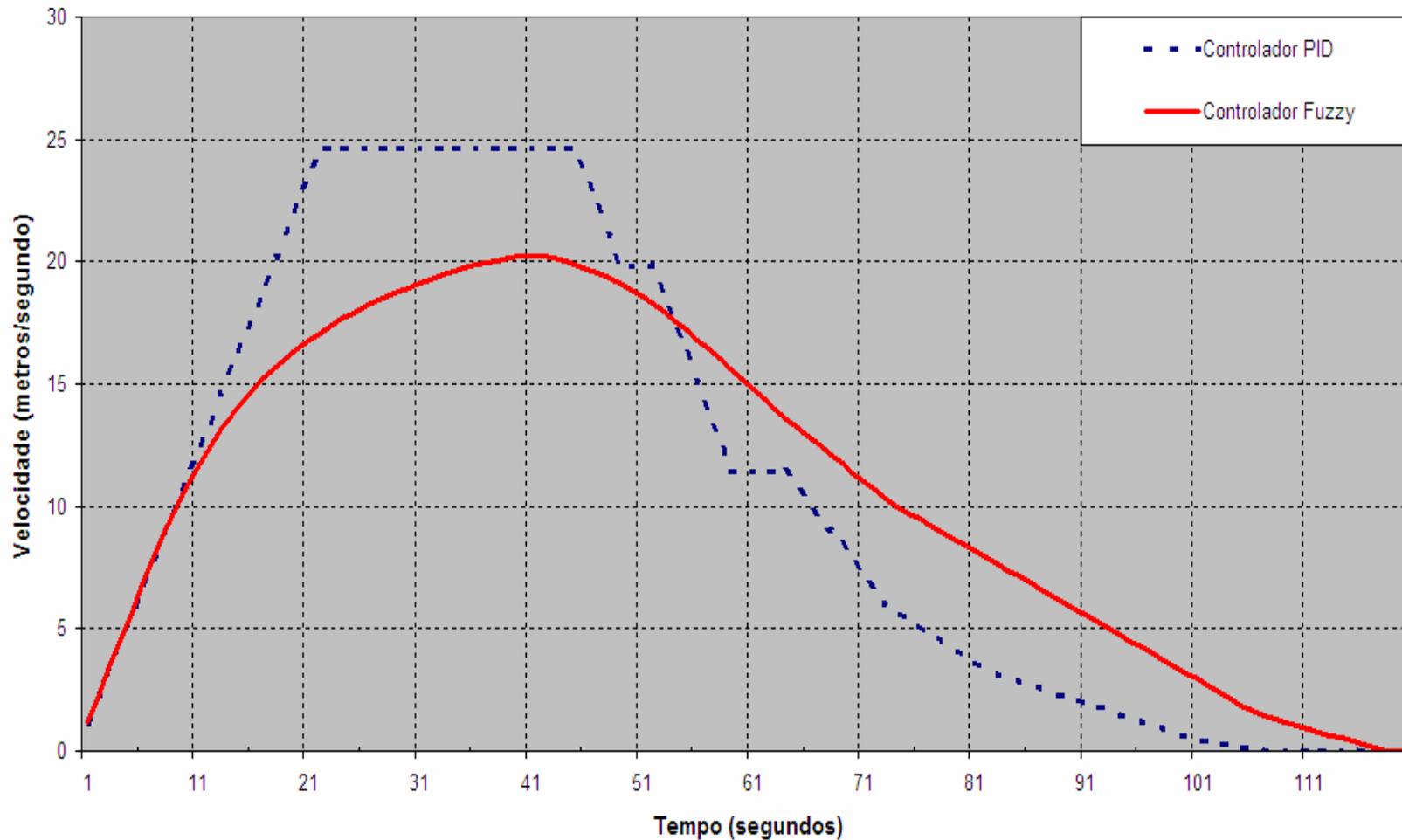
Simulação 1 – Circulação Normal de Trens (Situação Operacional Normal)

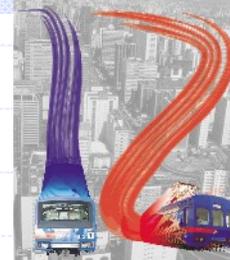


75	87	87	87	75	44	44
----	----	----	----	----	----	----

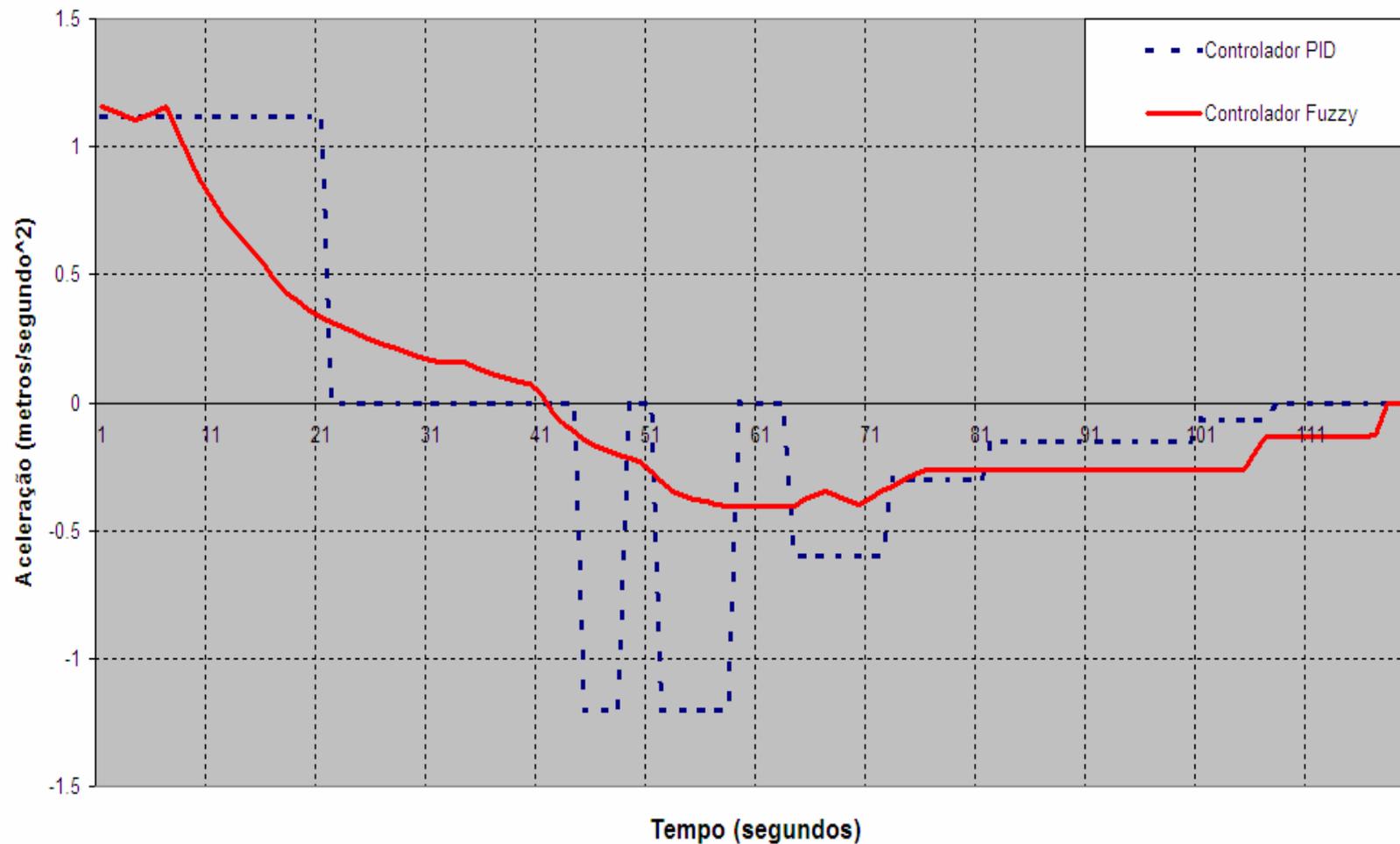


1a. Simulação - Circulação Normal de Trens - Velocidade dos Trens





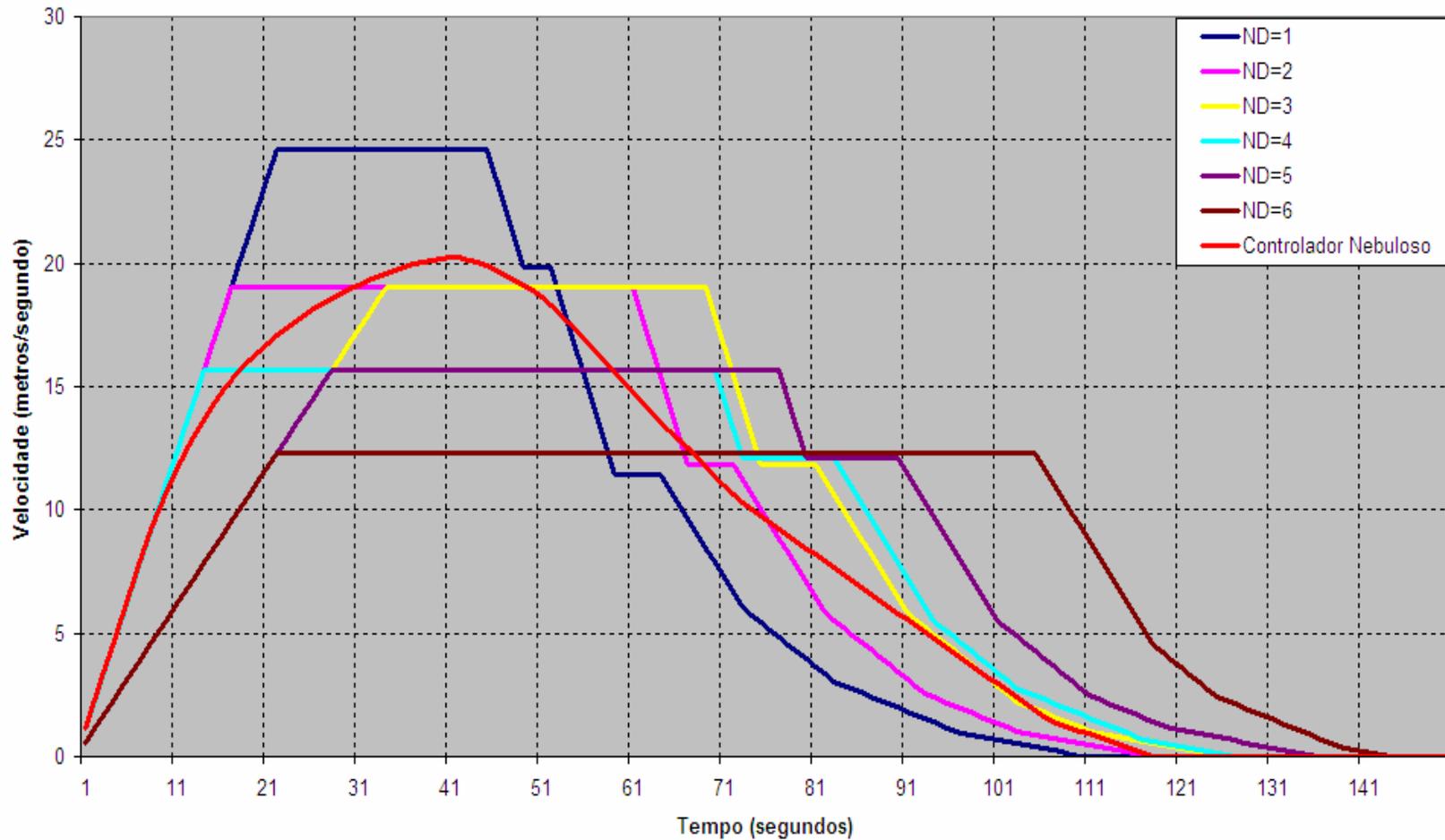
1a. Simulação - Circulação Normal de Trens - Aceleração dos Trens



Simulações Efetuadas



ND's x Controlador Nebuloso



Simulações Efetuadas



- ◆ Os gráficos de *Velocidade x Tempo* indicam que a aplicação da *Lógica Fuzzy* provoca uma suavidade nas curvas obtidas.
 - Esta característica representa uma principal vantagem aos passageiros, que é o aumento do conforto, além de uma menor taxa de manutenção e um menor consumo de energia.
- ◆ Uma desvantagem é o aumento do tempo de percurso entre as estações.
 - Esta característica é decorrente do fato do controlador nebuloso sempre buscar uma otimização das variáveis de entrada.
- ◆ As necessidades operacionais exigem que o tempo de percurso seja controlável.

Considerações Finais



- ◆ A lógica nebulosa preditiva revelou-se viável na aplicação de controle automático de trens, proporcionando como vantagens:
 - um maior conforto aos passageiros
 - uma menor taxa de manutenção
 - um menor consumo de energia do sistema

- ◆ Proporcionando como desvantagem:
 - o aumento do tempo de percurso entre as estações, exigindo que esta grandeza seja considerada para o controle do sistema

- ◆ Necessidades decorrentes:
 - sistema de sinalização por blocos móveis
 - aumento dos custos de implantação do sistema

- ◆ É possível utilizar as vantagens das ferramentas de IA mantendo-se a segurança do sistema, embora algumas normas europeias não recomendem a sua utilização.



Flávio Monteiro Rachel

fmrachel@metrosp.com.br

flavio.rachel@poli.usp.br

Paulo Sérgio Cugnasca

paulo.cugnasca@poli.usp.br