

**Leoncio Claro de Barros Neto**

**MODELAGEM EM GEOMETRIA DIGITAL  
APRIMORADA POR TÉCNICAS  
ADAPTATIVAS DE SEGMENTOS DE  
RETAS**

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção  
do Título de Doutor em Engenharia Elé-  
trica.

São Paulo  
2011

**Leoncio Claro de Barros Neto**

**MODELAGEM EM GEOMETRIA DIGITAL  
APRIMORADA POR TÉCNICAS  
ADAPTATIVAS DE SEGMENTOS DE  
RETAS**

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção  
do Título de Doutor em Engenharia Elé-  
trica.

Área de concentração:  
Sistemas Digitais

Orientador:  
Prof. Dr. Antônio Marcos de  
Aguirra Massola

São Paulo  
2011

Dedico este trabalho ao meu pai (*in memoriam*) e à minha mãe, como uma singela homenagem por seus esforços, dedicação e amor para minha formação.

# AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Marcos de Aguirra Massola, pelo apoio, pela confiança, pelos conselhos e opiniões ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. André Riyuiti Hirakawa por ter acompanhado as diversas fases do desenvolvimento deste trabalho, o qual não seria possível sem a sua ajuda.

Ao Prof. Dr. João José Neto, cujas idéias e entusiasmo foram fundamentais para a concepção e aperfeiçoamento desta pesquisa.

Aos Prof. Dr. Antonio Mauro Saraiva e Prof. Dr. Carlos Eduardo Cugnasca do Laboratório de Automação Agrícola.

Ao Prof. Dr. Ivan Ramos Pagnossin pelo apoio técnico relativo ao compilador LaTeX.

Ao Prof. Dr. Reginaldo Arakaki pelo incentivo em determinadas etapas da pesquisa.

À equipe da Biblioteca do Instituto de Matemática e Estatística da USP, pelo apoio em diversos levantamentos na literatura técnica.

À minha família, pela compreensão e apoio dado durante esta aventura na área do conhecimento.

Aos servidores e técnicos das secretarias da POLI, do PCS e da Biblioteca da POLI pelo atendimento às diversas solicitações.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em particular aos amigos Mario Carraza, Ramona Straube, Nelson André de Barros Gama do Nascimento, Marcelina Hollanda De Requena, Gláucio Diré e aos colegas do Laboratório de Automação Agrícola.

- O todo é igual à soma de suas partes.

EUCLIDES

- O todo é maior do que a soma de suas partes.

MAX WERTHEIMER

- To see the World in a Grain of Sand  
And a Heaven in a Wild Flower  
Hold Infinity in the palm of your hand  
And Eternity in a hour.

WILLIAN BLAKE

# Resumo

Visando representar linhas retas digitais, segmentos digitalizados e arcos, cada uma das linhas de pesquisa disponíveis apresenta suas vantagens e aplicações apropriadas. No entanto, considerando as complexidades de cenários do mundo real, o uso dessas representações não é tão popular em situações que requerem modelos flexíveis ou envolvendo interferências espúrias. As tecnologias adaptativas são formalismos da ciência da computação capazes de alterar seu comportamento dinamicamente, sem a interferência de agentes externos, em resposta a estímulos de entrada. Ao serem capazes de responder às mencionadas condições variáveis do ambiente, os dispositivos adaptativos naturalmente tendem a apresentar a flexibilidade requerida para atuarem em cenários dinâmicos. Assim, este trabalho investiga uma alternativa fundamentada no autômato finito adaptativo por meio do dispositivo denominado segmento digitalizado adaptativo, que incorpore o poder expressivo de representar parâmetros desses segmentos. Dentre esses parâmetros destacam-se a capacidade de representar as tolerâncias, a escalabilidade, os erros causados por desvios em ângulo ou em comprimento dos segmentos mencionados, resultando em estruturas mais flexíveis. Considerando que os métodos sintáticos são estruturais, os segmentos digitalizados adaptativos são modelados por conjuntos de regras, partindo-se de primitivas, concebendo-se as funções adaptativas correspondentes para alteração dos estados e de regras de transição. Posteriormente, estruturas mais elaboradas são concebidas relacionadas a arcos digitais pelos quais cadeias (*strings*) estimulam, em um passo único, autômatos finitos adaptativos que implementam segmentos digitalizados adaptativos. As implementações utilizam uma ferramenta cujo núcleo é um simulador para edição dos arquivos que compõem os autômatos. Conseqüentemente, o método proposto torna-se uma alternativa relativamente simples e intuitiva comparando-se com as abordagens existentes, apresentando capacidade de aprendizagem, além de ser computacionalmente poderosa.

Palavras-Chave: Computação Reconfigurável, Geometria e Modelagem Computacional, Reconhecimento de Padrões, Teoria dos Autômatos, Erros (Recuperação).

# Abstract

For the representation of digital straight lines, digitized straight line segments and arcs, each of the available research approaches has its advantages and suitable applications. However, taking into account the complexities of real-world scenarios, the use of these representations is not so popular in situations that require flexible models or involving spurious interferences. Adaptive technologies are computer science formalisms able to change their behavior dynamically, without the interference of external agents, in response to incoming stimuli. By being able to respond to changing environmental conditions, adaptive devices naturally tend to have the required flexibility to work in dynamic scenarios. Thus, the purpose of this study is to investigate an alternative based on adaptive finite automaton through the device called adaptive digitized straight line segment, incorporating the expressive power to represent parameters of these segments. Among these parameters, emphasis is given to the ability to represent tolerances, scalability or errors caused by deviations in angle or length of the mentioned segments, resulting in more flexible structures. Whereas syntactic methods are structural, adaptive digitized straight line segments are modeled by sets of rules, starting from primitives, conceiving the corresponding adaptive functions to amend the set of states and transition rules. Later, more elaborate structures are designed related to digital arcs the corresponding strings of which stimulate, in just a single step, adaptive finite automata that implement adaptive digitized straight line segments. The implementations use a simulator for editing the files that compose the automata. Consequently, the proposed method reveals to be a simple and intuitive alternative capable of learning, besides being computationally powerful.

**Keywords:** Reconfigurable Computing, Geometry and Computational Modeling, Pattern Recognition, Automaton Theory, Errors (Recovering).

# Sumário

## Lista de Figuras

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>20</b>
1.1	Princípios fundamentais . . . . .	22
1.1.1	Reticulado . . . . .	22
1.1.2	Grade e pontos digitais . . . . .	22
1.1.3	Arcos . . . . .	23
1.1.4	Atributos . . . . .	24
1.1.5	Primitivas . . . . .	24
1.1.6	Equações diofantinas . . . . .	25
1.1.7	Heurística . . . . .	26
1.1.8	Linhas retas digitais . . . . .	27
1.1.9	Vizinhanças principais . . . . .	28
1.1.10	O <i>chain code</i> . . . . .	30
1.1.11	Propriedades dos segmentos de retas digitais . . . . .	31
1.1.12	Codificação . . . . .	32
1.1.13	A propriedade da corda . . . . .	34
1.1.14	Parametrização . . . . .	35



1.1.15	Pré-imagem . . . . .	35
1.1.16	Distância entre segmentos digitais . . . . .	37
1.1.17	Retitude . . . . .	37
1.1.18	Hierarquia das linguagens . . . . .	38
1.2	O segmento de linha reta digitalizada adaptativo . . . . .	39
1.3	Breve histórico . . . . .	41
1.4	Objetivo . . . . .	43
1.5	Justificativa . . . . .	43
1.6	Organização da tese . . . . .	45
<b>2</b>	<b>CONCEITOS</b>	<b>47</b>
2.1	Autômatos finitos adaptativos . . . . .	47
2.1.1	Sumário sobre o autômato finito . . . . .	49
2.1.2	Sumário sobre o formalismo do autômato finito adaptativo . . . . .	50
2.1.3	Técnicas adaptativas básicas . . . . .	56
2.1.4	Considerações sobre os autômatos finitos adaptativos . . . . .	63
2.2	Características da representação digital . . . . .	65
2.2.1	Transformações entre espaços . . . . .	65
2.2.2	Conceitos complementares sobre o <i>chain code</i> . . . . .	68
2.2.3	Métodos de quantização . . . . .	68
2.2.4	Sensibilidade do chain code . . . . .	71
2.3	As retas digitais clássica e analítica . . . . .	72
2.3.1	O conceito clássico . . . . .	72

2.3.2	O conceito analítico pelas linhas discretas aritméticas . . . . .	77
2.3.3	Definições . . . . .	80
2.4	Soluções pela geometria discreta aritmética . . . . .	84
2.5	Métricas . . . . .	86
2.6	Considerações finais . . . . .	88
2.6.1	Segmento de linha reta digital . . . . .	88
2.6.2	O poder computacional requerido para a análise sintática de segmentos digitalizados . . . . .	89
2.6.3	Considerações sobre o estado-da-arte . . . . .	90
2.6.4	Vantagens e desvantagens da representação adaptativa . . . . .	92
<b>3</b>	<b>ANÁLISE ESTRUTURAL</b>	<b>94</b>
3.1	Ordem dos modelos . . . . .	97
3.1.1	Modelo de primeira ordem . . . . .	99
3.1.2	Modelo de segunda ordem . . . . .	99
3.1.3	O efeito do ruído . . . . .	100
3.2	Comprimento . . . . .	102
<b>4</b>	<b>ESTRUTURAS ADAPTATIVAS DA TESE</b>	<b>104</b>
4.1	Prolegômenos . . . . .	105
4.1.1	Recuperação de erros . . . . .	105
4.1.2	Técnica utilizada em recuperação de erros . . . . .	107
4.2	Variações em ângulo . . . . .	108
4.2.1	Implementação de segmento digitalizado adaptativo . . . . .	109

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

