

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

**CONTROLE INTELIGENTE DE ESTILOS MUSICAIS  
BASEADO EM APRENDIZADO POR REFORÇO**

**MURILO BORGES SILVA**

**Orientador:** Prof. Weber Martins, PhD

**Co-orientador:** Prof. Lauro Eugênio Guimarães Nalini, Dr

Goiânia  
2004

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**CONTROLE INTELIGENTE DE ESTILOS MUSICAIS  
BASEADO EM APRENDIZADO POR REFORÇO**

Dissertação apresentada ao Programa de **Pós-Graduação Strictu Sensu** da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás, para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Elétrica e de Computação**.

**Área de Concentração:** Engenharia da Computação

**Linha de Pesquisa:** Sistemas Inteligentes

**Orientador:** Prof. Weber Martins, PhD

**Co-orientador:** Prof. Lauro Eugênio Guimarães Nalini, Dr

Goiânia  
2004

*Para minha mãe que cuidou da minha educação  
desde os primeiros dias de minha vida, para meu pai, meus  
irmãos e para minha futura esposa Heloisa pela dedicação  
e compreensão.*

## AGRADECIMENTOS

iv

Ao meu amigo André Vasconcelos por ter me incentivado a iniciar no mestrado e por estar presente nos grandes momentos da minha vida.

A Deus criador de tudo e de todos por me presentear com tantas oportunidades na minha vida.

Aos amigos do BEG – Banco do Estado de Goiás que, enquanto chefes me permitiram assistir as aulas nos horários de trabalho, enquanto amigos me incentivaram a começar (Iamar Zuza e Rubens de Castro) e a fazer o exame de seleção junto com eles (Márcia Schiavon, Márcio Greyck e Carlos Henrique) e de uma forma ou de outra me mostraram um futuro melhor.

Aos amigos inseparáveis do GAN- Grupo Arte Nascente, que entenderam minhas ausências e atrasos na busca de um futuro melhor.

Ao amigo Bruno Eduardo pelo auxílio na montagem dos estilos musicais utilizados neste trabalho.

Ao amigo Luis Henrique da Programas & Soluções que gentilmente cedeu seu precioso tempo para me auxiliar nas dúvidas na implementação do programa e também pela amizade e a paz de espírito que transmite.

Aos amigos das Faculdades Alfa que continuaram me apoiando e me encorajando a finalizar mais esta fase da minha vida.

Aos meus amigos de mestrado que compartilharam tantos conhecimentos, tantas descobertas e tanta ralação. Em especial ao meu amigo Sirlon Diniz que não mediu esforços em me orientar, compartilhar, corrigir e me aconselhar na construção deste trabalho.

Ao meu co-orientador Lauro Nalini por ter se mostrado tão dedicado ao meu trabalho, retirando de suas horas de lazer o tempo necessário para a criação, acompanhamento, coleta de dados e finalização do trabalho. Ofereceu orientações valiosas, contribuindo de forma significativa para os resultados obtidos.

Ao meu pai que desde os primeiros dias de minha vida proveu os meus estudos, soube me entender nos dias da minha adolescência e que aqui peço desculpas das vezes que o magoei.

Aos meus irmãos Marcelo, Maurício e Renata que sempre quiseram meu bem se preocupando comigo, fazendo de tudo para me agradar.

Às minhas cunhadas e cunhado que junto com meus irmãos souberam me entender, me incentivar e me apoiar nas minhas decisões.

Aos meus sobrinhos, que de tão novos só se comunicam por gritos e algumas poucas palavras, obrigado pelos berros, por compartilhar comigo os seus primeiros passos ao redor de minha cadeira enquanto eu escrevia. Obrigado pelo companheirismo e pelos momentos de distração entre um parágrafo e outro.

A minha mãe que cuidou tão bem da minha educação me dando carinho, exemplos, e o amor que só ela soube me dar. Devo a ela toda minha vida, tudo o que eu sou e serei.

A minha esposa Heloisa, que eu tanto amo, tenho só que agradecer por tanto amor, tanta dedicação, tanto carinho e tanto companheirismo. Tenho certeza que continuaremos a ser muito felizes.

Por final, ao meu orientador e amigo Weber Martins por ter, desde o início, acreditado no meu potencial, pelos conselhos pessoais, profissionais e acadêmicos. Admiro sua simplicidade, companheirismo, inteligência, sutileza e sua dedicação. Aprendi mais do que fazer pesquisa ou ser profissional, aprendi a ser humano.

## **Declaração**

Partes deste trabalho foram apresentados nas seguintes publicações:

- Brazilian Association for Psychotherapy and Behavioral Medicine 13th and 2nd International conference of the Association for Behavior Analysis - Comportamento de Ordenação sob Procedimentos de Encadeamento: Uma Comparação entre Arranjos Manual e Computadorizado das Contingências. São Paulo, 2004.
- Brazilian Association for Psychotherapy and Behavioral Medicine 13th and 2nd International conference of the Association for Behavior Analysis - Controle Inteligente de Estilos Musicais por Redes Neurais Artificiais Baseados em Aprendizagem por Reforço. Intelligent Control of Musical Styles by Artificial Neural Networks Based on Learning by Reinforcement. São Paulo, 2004.
- IV Encontro de Psicologia e Medicina comportamental da região centro-oeste - Comportamento de ordenação sob arranjos manual e computadorizado das contingências de reforço. Brasília, 2004.

## SUMÁRIO

|                                                |           |
|------------------------------------------------|-----------|
| <b>LISTA DE FIGURAS</b>                        | <b>10</b> |
| <b>LISTA DE TABELAS</b>                        | <b>16</b> |
| <b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS</b>          | <b>23</b> |
| <b>RESUMO</b>                                  | <b>24</b> |
| <b>ABSTRACT</b>                                | <b>25</b> |
| <b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO</b>                  | <b>26</b> |
| 1.1 VISÃO GERAL.....                           | 26        |
| 1.2 PROBLEMA E HIPÓTESE.....                   | 26        |
| 1.3 JUSTIFICATIVA.....                         | 28        |
| 1.4 VISÃO GERAL DOS CAPÍTULOS.....             | 29        |
| <b>CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS DE MÚSICA</b>       | <b>32</b> |
| 2.1 INTRODUÇÃO.....                            | 32        |
| 2.2 EXPERIÊNCIAS INICIAIS COM OS SONS.....     | 33        |
| 2.3 MÚSICA.....                                | 34        |
| 2.3.1 RITMOS.....                              | 35        |
| 2.3.2 DIVISÃO DOS RITMOS.....                  | 37        |
| 2.3.3 BATERIA ACÚSTICA.....                    | 38        |
| 2.3.4 TEORIA MUSICAL PARA BATERIA.....         | 40        |
| 2.3.5 REPRESENTAÇÃO DOS RITMOS NA BATERIA..... | 43        |
| 2.4 REPRESENTAÇÃO COMPUTACIONAL.....           | 45        |
| 2.5 CONCLUSÃO.....                             | 47        |
| <b>CAPÍTULO 3: APRENDIZADO POR REFORÇO</b>     | <b>49</b> |
| 3.1 INTRODUÇÃO.....                            | 49        |
| 3.2 CONCEITOS BÁSICOS.....                     | 52        |
| 3.2.1 FRONTEIRA ENTRE AGENTE E AMBIENTE.....   | 54        |

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.2 REGRA PARA LOCALIZAR AS FRONTEIRAS.....                                                  | 54        |
| 3.2.3 OBJETIVOS E RECOMPENSAS.....                                                             | 55        |
| 3.2.4 POLÍTICA.....                                                                            | 55        |
| 3.2.5 LOCAL DE PROCESSAMENTO DA RECOMPENSA.....                                                | 56        |
| 3.2.6 RETORNO.....                                                                             | 56        |
| 3.2.7 TAREFAS EPISÓDICAS E CONTÍNUAS.....                                                      | 57        |
| 3.2.8 DESCONTO.....                                                                            | 57        |
| 3.2.9 FUNÇÕES DE REFORÇO.....                                                                  | 58        |
| <b>3.3 FUNÇÕES VALOR.....</b>                                                                  | <b>58</b> |
| 3.3.1 A PROPRIEDADE FUNDAMENTAL DAS FUNÇÕES VALOR.....                                         | 60        |
| 3.3.2 EQUAÇÃO DE BELLMAN.....                                                                  | 60        |
| 3.3.3 DIAGRAMAS DE BACKUP.....                                                                 | 61        |
| 3.3.4 FUNÇÃO VALOR ÓTIMA.....                                                                  | 61        |
| <b>3.4 MÉTODOS DO APRENDIZADO POR REFORÇO.....</b>                                             | <b>64</b> |
| 3.4.1 PROGRAMAÇÃO DINÂMICA (PD).....                                                           | 65        |
| 3.4.2 MONTE CARLO (MC).....                                                                    | 67        |
| 3.4.2.1 AVALIAÇÃO DA POLÍTICA DE MONTE CARLO.....                                              | 68        |
| 3.4.3 DIFERENÇA TEMPORAL (DT).....                                                             | 68        |
| 3.4.4 COMPARAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA (PD), MONTE CARLO (MC) E DIFERENÇA TEMPORAL (DT)..... | 69        |
| 3.4.5 POLÍTICA ON E OFF (ON-POLICY E OFF-POLICY) .....                                         | 70        |

## **CAPÍTULO 4: MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS** **71**

|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| <b>4.1 INTRODUÇÃO.....</b>              | <b>71</b> |
| <b>4.2 ARQUITETURA.....</b>             | <b>73</b> |
| <b>4.3 TREINAMENTO.....</b>             | <b>74</b> |
| 4.3.1 CÁLCULO DO NEURÔNIO VENCEDOR..... | 75        |
| 4.3.2 ATUALIZAÇÃO DOS PESOS.....        | 76        |
| 4.3.3 ALGORITMO DE TREINAMENTO.....     | 77        |
| <b>4.4 MEDIDAS DE QUALIDADE.....</b>    | <b>78</b> |
| 4.4.1 PRESERVAÇÃO TOPOLÓGICA.....       | 78        |
| 4.4.2 PRECISÃO DO MAPA.....             | 79        |

## **CAPÍTULO 5: SISTEMA PROPOSTO** **81**

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5.1 INTRODUÇÃO.....</b>                                 | <b>81</b> |
| <b>5.2 ORGANIZAÇÃO TOPOLÓGICA DE ESTILOS MUSICAIS.....</b> | <b>81</b> |
| <b>5.3 USO DO APRENDIZADO POR REFORÇO.....</b>             | <b>85</b> |

## **CAPÍTULO 6: EXPERIMENTOS E RESULTADOS** **90**

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| <b>6.1 INTRODUÇÃO.....</b>                   | <b>90</b>  |
| <b>6.2 ORDENAÇÃO MUSICAL TOPOLÓGICA.....</b> | <b>90</b>  |
| 6.2.1 DESCRIÇÃO.....                         | 91         |
| 6.2.2 IMPLEMENTAÇÃO DA REDE SOM.....         | 92         |
| 6.2.3 RESULTADOS OBTIDOS DA REDE SOM.....    | 94         |
| <b>6.3 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA.....</b>     | <b>96</b>  |
| <b>6.4 CENÁRIO DA EXPERIMENTAÇÃO.....</b>    | <b>99</b>  |
| <b>6.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....</b>    | <b>105</b> |
| 6.5.1 CONDIÇÕES DA COLETA DE DADOS.....      | 106        |

|            |                                                                                                          |            |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6.6</b> | <b>ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>                                                                        | <b>109</b> |
| 6.6.1      | ANÁLISE DESCRITIVA.....                                                                                  | 109        |
| 6.6.2      | ANÁLISE INFERENCIAL.....                                                                                 | 123        |
| 6.6.2.1    | - ANÁLISE ESTATÍSTICA – COMPARAÇÃO ENTRE A PRIMEIRA E A ÚLTIMA SEQUÊNCIA.....                            | 123        |
| 6.6.2.2    | - ANÁLISE ESTATÍSTICA – COMPARAÇÃO ENTRE AS CONDIÇÕES DE COLETA EM SILÊNCIO, ALEATÓRIA E CONTROLADA..... | 131        |
| <b>6.7</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>                                                                                    | <b>145</b> |

## **CAPÍTULO 7: CONCLUSÃO** **147**

|            |                                              |            |
|------------|----------------------------------------------|------------|
| <b>7.1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                       | <b>147</b> |
| <b>7.2</b> | <b>CONFRONTO HIPÓTESES E RESULTADOS.....</b> | <b>149</b> |
| <b>7.3</b> | <b>ESTUDOS FUTUROS.....</b>                  | <b>150</b> |
| <b>7.4</b> | <b>PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES.....</b>         | <b>151</b> |
| <b>7.5</b> | <b>BENEFÍCIOS PESSOAIS.....</b>              | <b>151</b> |

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** **153**

## **ANEXO I: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO** **157**

## **ANEXO II: INSTRUÇÕES PARA COLETA** **160**

## **ANEXO III: EXEMPLO DAS MEDIDAS** **167**

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                  |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 1: METRÔNOMO MECÂNICO A CORDA</u></b>                               | <b><u>36</u></b> |
| <b><u>FIGURA 2: BATERIA ACÚSTICA COM PRATOS E ESTANTES</u></b>                   | <b><u>38</u></b> |
| <b><u>FIGURA 3: BAQUETAS DE MADEIRA. PONTA DE MADEIRA E DE NÁILON</u></b>        | <b><u>40</u></b> |
| <b><u>FIGURA 4: PAUTA MUSICAL</u></b>                                            | <b><u>40</u></b> |
| <b><u>FIGURA 5: CLAVE DE FÁ</u></b>                                              | <b><u>41</u></b> |
| <b><u>FIGURA 6: BARRA DE COMPASSO</u></b>                                        | <b><u>41</u></b> |
| <b><u>FIGURA 7: BARRA DE DUPLA</u></b>                                           | <b><u>41</u></b> |
| <b><u>FIGURA 8: ACENTO</u></b>                                                   | <b><u>41</u></b> |
| <b><u>FIGURA 9: INDICADORES DE MÃOS</u></b>                                      | <b><u>42</u></b> |
| <b><u>FIGURA 10: PULSAÇÕES ERRADAS E CERTAS</u></b>                              | <b><u>42</u></b> |
| <b><u>FIGURA 11: SEQÜÊNCIA MUSICAL PARA BATERIA (CHIMBAL, CAIXA E BUMBO)</u></b> | <b><u>42</u></b> |
| <b><u>FIGURA 12: REPRESENTAÇÃO MUSICAL DE BLUES.</u></b>                         | <b><u>43</u></b> |

|                                                                                                                  |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 13: REPRESENTAÇÃO MUSICAL DE ROCK BÁSICO</u></b>                                                    | <b><u>44</u></b> |
| <b><u>FIGURA 14: REPRESENTAÇÃO MUSICAL DE BOSSA NOVA</u></b>                                                     | <b><u>44</u></b> |
| <b><u>FIGURA 15: REPRESENTAÇÃO MUSICAL DE REGGAE</u></b>                                                         | <b><u>44</u></b> |
| <b><u>FIGURA 16: TRANSIÇÕES POSSÍVEIS DE UM ESTADO ATUAL <math>ST</math> E OS ESTADOS <math>ST+1</math>.</u></b> | <b><u>53</u></b> |
| <b><u>FIGURA 17: ARQUITETURA AR. INTERAÇÃO AGENTE E AMBIENTE.</u></b>                                            | <b><u>54</u></b> |
| <b><u>FIGURA 18: DIAGRAMAS DE BACKUP. A-TRANSIÇÃO DE ESTADO. B-PAR AÇÃO-ESTADO.</u></b>                          | <b><u>60</u></b> |
| <b><u>FIGURA 19: DIAGRAMAS PARA <math>V^*</math> E <math>Q^*</math> NAS FIGURAS A E B, RESPECTIVAMENTE.</u></b>  | <b><u>63</u></b> |
| <b><u>FIGURA 20: ALGORITMO DE AVALIAÇÃO DA POLÍTICA INTERATIVA</u></b>                                           | <b><u>67</u></b> |
| <b><u>FIGURA 21: ALGORITMO DA DIFERENÇA TEMPORAL</u></b>                                                         | <b><u>69</u></b> |
| <b><u>FIGURA 22: CÓRTEX CEREBRAL HUMANO</u></b>                                                                  | <b><u>72</u></b> |
| <b><u>FIGURA 23: VIZINHANÇA DOS MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS DO TIPO LINEAR EM ANEL.</u></b>                          | <b><u>73</u></b> |

|                                                                                   |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 24: ARQUITETURA DOS MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS. NODOS LINEARES.</u></b> | <b><u>73</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|

|                                                                     |                  |
|---------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 25: FASES DO TREINAMENTO DE UM MAPA DE KOHONEN</u></b> | <b><u>75</u></b> |
|---------------------------------------------------------------------|------------------|

|                                                 |                  |
|-------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 26: FUNÇÃO CHAPÉU MEXICANO</u></b> | <b><u>77</u></b> |
|-------------------------------------------------|------------------|

|                                        |                  |
|----------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 27: ALGORITMO SOM</u></b> | <b><u>77</u></b> |
|----------------------------------------|------------------|

|                                                                                  |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 28: EXEMPLO DO MAPA DE REPRESENTAÇÃO DE CADA ESTILO MUSICAL</u></b> | <b><u>83</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------|

|                                                                       |                  |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 29: ESQUEMA ADOTADO PARA REPRESENTAR OS ESTADOS.</u></b> | <b><u>86</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------|

|                                              |                  |
|----------------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 30: POLÍTICA ALEATÓRIA.</u></b> | <b><u>86</u></b> |
|----------------------------------------------|------------------|

|                                                                           |                  |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 31: PROGRAMA USADO PARA GERAR A BASE PARA A REDE SOM</u></b> | <b><u>92</u></b> |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------|

|                                                                                           |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 32: COMPARAÇÃO ENTRE PADRÃO DE ENTRADA E NEURÔNIO DO MAPA TOPOLÓGICO</u></b> | <b><u>93</u></b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|

|                                                                                          |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 33: PROGRAMA QUE DEFINE O MAPEAMENTO TOPOLÓGICO (ESTILOS MUSICAIS).</u></b> | <b><u>94</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|

|                                                                           |                  |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>FIGURA 34: RESULTADO FINAL DA SEQUÊNCIA DE ESTILOS MUSICAIS</u></b> | <b><u>95</u></b> |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------|

|                                                                 |                   |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><u>FIGURA 35: MAPA TOPOLÓGICO DE ESTILOS MUSICAIS</u></b>    | <b><u>95</u></b>  |
| <b><u>FIGURA 36: TRANSIÇÃO CONTROLADA INTELIGENTEMENTE</u></b>  | <b><u>97</u></b>  |
| <b><u>FIGURA 37: TRANSIÇÃO INICIAL DA COLETA CONTROLADA</u></b> | <b><u>98</u></b>  |
| <b><u>FIGURA 38: TRANSIÇÃO ALEATÓRIA</u></b>                    | <b><u>99</u></b>  |
| <b><u>FIGURA 39: TELA DE CADASTRO DOS PARTICIPANTES</u></b>     | <b><u>100</u></b> |
| <b><u>FIGURA 40: TELA DE MONTAGEM DA SEQUÊNCIA</u></b>          | <b><u>101</u></b> |
| <b><u>FIGURA 41: RESULTADO DA ESCOLHA DA FIGURA</u></b>         | <b><u>101</u></b> |
| <b><u>FIGURA 42: SEGUNDA ESCOLHA ERRADA</u></b>                 | <b><u>102</u></b> |
| <b><u>FIGURA 43: SEGUNDA ESCOLHA CORRETA</u></b>                | <b><u>102</u></b> |
| <b><u>FIGURA 44: SEQUÊNCIA DE HABITUAÇÃO</u></b>                | <b><u>107</u></b> |
| <b><u>FIGURA 45: PRIMEIRA SEQUÊNCIA APRESENTADA</u></b>         | <b><u>107</u></b> |
| <b><u>FIGURA 46: SEGUNDA SEQUÊNCIA APRESENTADA</u></b>          | <b><u>107</u></b> |
| <b><u>FIGURA 47: TERCEIRA SEQUÊNCIA APRESENTADA</u></b>         | <b><u>107</u></b> |

|                                                       |            |
|-------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>FIGURA 48: QUARTA SEQÜÊNCIA APRESENTADA</u></b> | <b>108</b> |
|-------------------------------------------------------|------------|

|                                                       |            |
|-------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>FIGURA 49: GRUPOS E CONDIÇÕES DE COLETA</u></b> | <b>108</b> |
|-------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>FIGURA 50: MÉDIAS GLOBAIS POR SEQÜÊNCIA DE DURAÇÕES<br/>MÉDIAS INDIVIDUAIS DE AQUISIÇÃO DAS SEQÜÊNCIAS</u></b> | <b>110</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>FIGURA 51: MÉDIAS GLOBAIS POR SEQÜÊNCIA DE LATÊNCIAS<br/>MÉDIAS INDIVIDUAIS DE RESPOSTAS AOS ESTÍMULOS DA<br/>SEQÜÊNCIA</u></b> | <b>111</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>FIGURA 52: MÉDIAS GLOBAIS POR SEQÜÊNCIA DO NÚMERO DE<br/>TENTATIVAS PARA A AQUISIÇÃO DA SEQÜÊNCIA</u></b> | <b>111</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>FIGURA 53: MÉDIAS GLOBAIS POR SEQÜÊNCIA DO NÚMERO DE<br/>ERROS REAIS POR SEQÜÊNCIA</u></b> | <b>112</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                          |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>FIGURA 54: MÉDIAS GLOBAIS POR SEQÜÊNCIA DO TEMPO DE<br/>AGREGAÇÃO SEQÜENCIAL POR SEQÜÊNCIA</u></b> | <b>113</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>FIGURA 55: MÉDIAS GLOBAIS POR SEQÜÊNCIA DO TEMPO DE<br/>AGREGAÇÃO SEQÜENCIAL REAL POR SEQÜÊNCIA</u></b> | <b>113</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>FIGURA 56: MÉDIAS GLOBAIS POR SEQÜÊNCIA DO NÚMERO DE<br/>TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQÜENCIAL POR SEQÜÊNCIA</u></b> | <b>114</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>FIGURA 57: MÉDIAS GLOBAIS POR SEQÜÊNCIA DO NÚMERO DE<br/>TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQÜENCIAL REAL POR<br/>SEQÜÊNCIA</u></b> | <b>115</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                              |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><u>FIGURA 58: REDUÇÃO DAS DIFERENÇAS DO DESVIO PADRÃO ENTRE A 1A E A 4A SEQUÊNCIA</u></b> | <b><u>116</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|

|                                                                      |                   |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><u>FIGURA 59: REDUÇÃO DA MÉDIA DE DURAÇÃO ENTRE CONDIÇÕES</u></b> | <b><u>117</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------|

|                                                                                |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><u>FIGURA 60: REDUÇÃO MÉDIA DO NÚMERO DE TENTATIVAS ENTRE CONDIÇÕES</u></b> | <b><u>118</u></b> |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|

|                                                                             |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><u>FIGURA 61: REDUÇÃO DA MÉDIA DA LATÊNCIA MÉDIA ENTRE CONDIÇÕES</u></b> | <b><u>119</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------|

|                                                                                    |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><u>FIGURA 62: REDUÇÃO DA MÉDIA DO NÚMERO DE ERROS REAIS ENTRE CONDIÇÕES</u></b> | <b><u>119</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|

|                                                                                            |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><u>FIGURA 63: REDUÇÃO DA MÉDIA DO TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL ENTRE CONDIÇÕES</u></b> | <b><u>120</u></b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|

|                                                                                                 |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><u>FIGURA 64: REDUÇÃO DA MÉDIA DO TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL REAL ENTRE CONDIÇÕES</u></b> | <b><u>121</u></b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|

|                                                                                                           |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><u>FIGURA 65: REDUÇÃO DA MÉDIA DO NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL ENTRE CONDIÇÕES</u></b> | <b><u>121</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|

|                                                                                                                |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><u>FIGURA 66: REDUÇÃO DA MÉDIA DO NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL REAL ENTRE CONDIÇÕES</u></b> | <b><u>122</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|

## LISTA DE TABELAS

**TABELA 1: ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS COLETADOS** 109

**TABELA 2: REDUÇÃO DO DESVIO PADRÃO COMPARANDO A 1A E A 4A SEQÜÊNCIA** 116

**TABELA 3: REDUÇÃO DO DESVIO PADRÃO ENTRE CONDIÇÕES** 116

**TABELA 4: COMPARATIVO ENTRE A 1A E A 4A SEQÜÊNCIA – VALOR P UNICAUDAL** 124

**TABELA 5: DURAÇÃO DA AQUISIÇÃO DA SEQÜÊNCIA DA COLETA EM SILÊNCIO** 124

**TABELA 6: DURAÇÃO DA AQUISIÇÃO DA SEQÜÊNCIA DA COLETA ALEATÓRIA** 124

**TABELA 7: DURAÇÃO DA AQUISIÇÃO DA SEQÜÊNCIA DA COLETA CONTROLADA** 124

**TABELA 8: NO DE TENTATIVAS PARA AQUISIÇÃO DA SEQÜÊNCIA DA COLETA EM SILÊNCIO** 125

**TABELA 9: NO DE TENTATIVAS PARA AQUISIÇÃO DA SEQÜÊNCIA DA COLETA ALEATÓRIA** 125

|                                                                                            |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 10: NO DE TENTATIVAS PARA AQUISIÇÃO DA SEQUÊNCIA DA COLETA CONTROLADA</u></b> | <b>125</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                      |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 11: LATÊNCIA MÉDIA DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA DA COLETA EM SILÊNCIO</u></b> | <b>126</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                    |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 12: LATÊNCIA MÉDIA DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA DA COLETA ALEATÓRIA</u></b> | <b>126</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 13: LATÊNCIA MÉDIA DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA DA COLETA CONTROLADA</u></b> | <b>126</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 14: NÚMERO DE ERROS REAIS DA COLETA EM SILÊNCIO</u></b> | <b>127</b> |
|----------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 15: NÚMERO DE ERROS REAIS DA COLETA ALEATÓRIA</u></b> | <b>127</b> |
|--------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 16: NÚMERO DE ERROS REAIS DA COLETA CONTROLADA</u></b> | <b>127</b> |
|---------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 17: TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL DA COLETA EM SILÊNCIO</u></b> | <b>127</b> |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 18: TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL DA COLETA ALEATÓRIA</u></b> | <b>128</b> |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 19: TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL DA COLETA CONTROLADA</u></b> | <b>128</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 20: TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUÊNCIAL REAL DA COLETA EM SILÊNCIO</u></b> | <b>128</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 21: TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUÊNCIAL REAL DA COLETA ALEATÓRIA</u></b> | <b>129</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 22: TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUÊNCIAL REAL DA COLETA CONTROLADA</u></b> | <b>129</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                             |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 23: NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUÊNCIAL DA COLETA EM SILÊNCIO</u></b> | <b>129</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 24: NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUÊNCIAL DA COLETA ALEATÓRIA</u></b> | <b>130</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                            |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 25: NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUÊNCIAL DA COLETA CONTROLADA</u></b> | <b>130</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 26: NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUÊNCIAL REAL DA COLETA EM SILÊNCIO</u></b> | <b>130</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 27: NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUÊNCIAL REAL DA COLETA ALEATÓRIA</u></b> | <b>130</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 28: NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUÊNCIAL REAL DA COLETA CONTROLADA</u></b> | <b>131</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                    |            |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 29: COMPARATIVO ENTRE CONDIÇÕES DE COLETA – VALOR P UNICAUDAL</u></b> | <b>132</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 30: DURAÇÃO DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A ALEATÓRIA</u></b> | <b>132</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 31: NÚMERO DE TENTATIVAS DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A ALEATÓRIA</u></b> | <b>133</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 32: LATÊNCIA MÉDIA DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A ALEATÓRIA</u></b> | <b>133</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 33: NÚMERO DE ERROS REAIS DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A ALEATÓRIA</u></b> | <b>134</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                        |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 34: TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A ALEATÓRIA</u></b> | <b>135</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                             |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 35: TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL REAL DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A ALEATÓRIA</u></b> | <b>135</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                                       |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 36: NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A ALEATÓRIA</u></b> | <b>135</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                                            |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 37: NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL REAL DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A ALEATÓRIA</u></b> | <b>136</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 38: DURAÇÃO DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A CONTROLADA</u></b> | <b>136</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 39: NÚMERO DE TENTATIVAS DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A CONTROLADA</u></b> | <b>137</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 40: LATÊNCIA MÉDIA DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A CONTROLADA</u></b> | <b>137</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 41: NÚMERO DE ERROS REAIS DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A CONTROLADA</u></b> | <b>138</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 42: TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A CONTROLADA</u></b> | <b>139</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 43: TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL REAL DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A CONTROLADA</u></b> | <b>139</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                                        |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 44: NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A CONTROLADA</u></b> | <b>140</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 45: NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL REAL DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM SILÊNCIO E A CONTROLADA</u></b> | <b>140</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 46: DURAÇÃO DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM ALEATÓRIA E A CONTROLADA</u></b> | <b>140</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 47: NÚMERO DE TENTATIVAS DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM ALEATÓRIA E A CONTROLADA</u></b> | <b>141</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 48: LATÊNCIA MÉDIA DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM ALEATÓRIA E A CONTROLADA</u></b> | <b>142</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 49: NÚMERO DE ERROS REAIS DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM ALEATÓRIA E A CONTROLADA</u></b> | <b>142</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 50: TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM ALEATÓRIA E A CONTROLADA</u></b> | <b>143</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 51: TEMPO DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL REAL DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM ALEATÓRIA E A CONTROLADA</u></b> | <b>143</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                                         |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 52: NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM ALEATÓRIA E A CONTROLADA</u></b> | <b>144</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

|                                                                                                                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>TABELA 53: NÚMERO DE TENTATIVAS DE AGREGAÇÃO SEQUENCIAL REAL DE RESPOSTA AOS ESTÍMULOS DA SEQUÊNCIA ENTRE A COLETA EM ALEATÓRIA E A CONTROLADA</u></b> | <b>144</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|          |                                                                       |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|
| AR       | - Aprendizado por Reforço                                             |
| GSC      | - Galvanic Skin Conductance                                           |
| IA       | - Inteligência Artificial                                             |
| SOM      | - Self Organizing Map                                                 |
| RNA      | - Rede Neural Artificial                                              |
| UFG      | - Universidade Federal de Goiás                                       |
| UCG      | - Universidade Católica de Goiás                                      |
| BPM      | - Batimentos por Minuto                                               |
| CD       | - Compact Disk                                                        |
| UPC      | - Unidade de Processamento Central                                    |
| DT       | - Diferença Temporal                                                  |
| MC       | - Monte Carlo                                                         |
| PD       | - Programação Dinâmica                                                |
| AEC      | - Análise Experimental do Comportamento                               |
| $H_0$    | - Hipótese Nula                                                       |
| $H_a$    | - Hipótese Alternativa                                                |
| D        | - Duração da aquisição da seqüência                                   |
| NTt      | - Número de tentativas para a aquisição da seqüência                  |
| $\mu Lt$ | - Latência média de resposta aos estímulos da seqüência (em segundos) |
| NER      | - Número de erros reais                                               |
| SEQ      | - Seqüência                                                           |
| TAgS     | - Tempo de agregação seqüencial                                       |
| TAgSR    | - Tempo de agregação seqüencial real                                  |
| NTtAgS   | - Número de tentativas de agregação seqüencial                        |
| NTtAgSR  | - Número de tentativas de agregação seqüencial real                   |

## RESUMO

Esta dissertação propõe, implementa e avalia um sistema controlador de estilos musicais baseado em Redes Neurais Artificiais (Inteligência Artificial) com *Aprendizado por Reforço* em tarefa de encadeamento de figuras para humanos (Psicologia - Análise Experimental do Comportamento). Nove estilos musicais organizados topologicamente por uma rede SOM (*Mapas Auto-Organizáveis de Kohonen*) são utilizados como elementos básicos a serem controlados pela rede neural. A tarefa de encadeamento de figuras (“*chain*”), bastante estudada em Psicologia, é a base para a implementação e avaliação dos resultados do controle inteligente. São apresentadas **comparações** entre os **desempenhos dos participantes na tarefa de encadeamento em três situações** experimentais: **silêncio** (ausência de fundo musical), **aleatória** (estilos musicais aleatoriamente escolhidos) e **inteligente** (estilos musicais determinados pelo sistema proposto). A análise dos dados coletados (representados pelas grandezas: duração da aquisição da seqüência, número de tentativas para aquisição da seqüência, latência média de resposta aos estímulos para aquisição da seqüência, número de erros reais, tempo de agregação seqüencial, tempo de agregação seqüencial real, número de tentativas de agregação seqüencial e número de tentativas de agregação seqüencial real) indicam que a aplicação das técnicas propostas no **controle inteligente de estilos musicais** é adequada, pois obtivemos **resultados significativos**. Em termos descritivos, o **sistema proposto** ofereceu vantagens, conseguindo **reduzir o desvio padrão** das grandezas estudadas (com exceção do tempo de agregação seqüencial) durante a coleta controlada, comparando a primeira e a última seqüência da sessão experimental. Em termos da Estatística Inferencial, registrou-se, comparando a primeira e a última seqüência da sessão experimental, a **diminuição do número de tentativas (valor de  $P = 1\%$ ) e duração (valor de  $P = 7\%$ )**. Com referência à última seqüência e à comparação entre a situação controlada pelo sistema proposto e a situação em silêncio, houve a **redução significativa da latência média de resposta de cada tentativa (valor de  $P = 7\%$ )**.

## ABSTRACT

This dissertation proposes, implements and evaluates a **control system of musical styles** based on Artificial Neural Network (Artificial Intelligence) with *Reinforcement Learning* in a behavioral chaining task with Humans (Psychology – Experimental Analysis of Behavior). Nine musical styles are topologically organized by SOM (Self-Organizing Map) and used as basic elements to be controlled by neural network. The behavioral chaining task, as used in Behavior Analysis, is the basis to implement and evaluate the results of intelligent control. **Comparisons on participant performance** are shown in **three experimental conditions: silence** (absence of music background), **randomly** (random musical background) and **intelligent** (musical background is selected by the proposed system). The collected data (represented by variables as: 1. number of trials and 2. time spent to acquire the sequence, 3. number of trials and 4. time spent to aggregate each stimulus in the sequence, 5. number of trials and 6. time spent to real aggregation of each stimulus in the sequence, 7. number of real errors, and 8. average latency of responding to the stimuli in the sequence) **indicate** that the application of the proposed technique on **intelligent control of musical styles** is **adequate**, since **significant results** have been obtained. In terms of Descriptive Statistics, the **proposed system** offers advantages, **reducing the squared deviation** of magnitudes (except time spent to aggregate each stimulus) **during controlled data collection**. In terms of Inferential Statistics, it was observed, by the comparison of the performance in the first and in the last sequence of the experimental sessions, the **decrease of the number of trials (p-value = 1%) and time spent (p-value = 7%)**. As for the last sequence, when compared to the proposed system and silence conditions, the **average latency** of the responding to the stimuli in each trial have been **reduced significantly (p-value = 7%)**.

# Capítulo 1: Introdução

*“É preferível aproximadamente acertar do que precisamente errar.”*

*John Vaston.*

## 1.1 Visão geral

Este trabalho utiliza uma tarefa de encadeamento oriunda da Análise Experimental do Comportamento na configuração de uma situação de aprendizagem humana, juntamente com ordenação topológica de nove estilos musicais onde são aplicadas técnicas computacionais de *Aprendizado por Reforço* das Redes Neurais Artificiais (RNA). A aplicação destas técnicas visa selecionar o(s) estilo(s) musical(ais) mais apropriado(s) ao participante que estiver executando a tarefa. O objetivo do estudo é verificar se o agente inteligente melhora o desempenho (Responder de ordenação) do participante humano na tarefa de encadeamento com a colocação do(s) estilo(s) que minimize(m) os erros durante a tarefa, alterando eventualmente outras medidas.

## 1.2 Problema e hipótese

As perguntas que este trabalho visa responder são:

- Que efeito o controle inteligente de estilos musicais baseado em *Aprendizado por Reforço* possui em tarefas de aprendizagem em humanos?

- É possível controlar a execução de estilos musicais no sentido de colaborar para a execução eficiente de tarefas de aprendizagem humana ou seria melhor a ausência de fundo musical ou, ainda, um fundo musical composto aleatoriamente?
- Como organizar a execução de estilos musicais de modo a não causar grandes saltos entre estilos consecutivos?

**Hipótese principal:**

- O controle inteligente de estilos musicais, baseado no sistema proposto neste trabalho (*Aprendizado por Reforço* combinado a mapeamento topológico de Kohonen), é mais eficiente que a execução aleatória e que a execução silenciosa (ausência de fundo musical).

**Hipótese secundária:**

- O controle inteligente dos estilos musicais, na tarefa proposta, reduz a **duração da aquisição da seqüência** (D em segundos), **número de tentativas para a aquisição da seqüência** (NTt), **latência média de resposta ao estímulos da seqüência** ( $\mu$ Lt, em segundos), **número de erros reais** (NER), **tempo de agregação seqüencial** (TAgS), **tempo de agregação seqüencial real** (TAgSR), **número de tentativas de agregação seqüencial** (NTtAgS) e **número de tentativas de agregação seqüencial real** (NTtAgSR).

### 1.3 Justificativa

Um fator comum existente nos diferentes povos é a presença da música. Ela existe nos mais diversos ritmos, formas, melodias, causando fascínio e repúdio, dependendo do meio cultural onde se manifestam. Esta forma de expressão, que talvez seja uma das mais antigas, é encontrada desde a pré-história, e em todas as sociedades do globo.

Não é difícil admitir, a partir das nossas observações cotidianas, que cada indivíduo mantém sua própria relação com estimulação sonora (música) enquanto estuda. Alguns preferem total silêncio para aprender, outros utilizam aparelhos de reprodução sonora reproduzindo algum estilo musical enquanto estudam. Outros aprendem mais lentamente se não tiverem um rádio, ou um aparelho de CD ou aparelhos similares ao lado.

ARAUJO [2000] realizou estudo sobre o controle de sinais fisiológicos humanos (GSC; Galvanic Skin Conductance)<sup>1</sup>, com o emprego de técnicas computacionais de *Aprendizado por Reforço* [HAYKIN 2002]. Foi utilizada a estimulação musical, onde uma estrutura musical era capaz de gerar trechos das obras de Mozart (Dados de Mozart). Posteriormente foram identificados quais trechos musicais conseguiam reduzir a GSC. A pesquisa apresentou resultados significativos e tornou evidente a eficiência de Redes Neurais Artificiais e da utilização da música para o alcance dos objetivos propostos. Tais achados nos incentivaram a desenvolver um projeto utilizando estilos musicais popularmente conhecidos.

As técnicas de *Aprendizado por Reforço* nas redes neurais artificiais vêm ganhando força devido às suas características. Para utilizar estas técnicas é necessário um conhecimento **pequeno** do ambiente e de sua dinâmica. Propomos a criação de um agente

---

<sup>1</sup> GSC (Galvanic Skin Conductance). É um sinal fisiológico captado a partir da pele humana que informa a condutância galvânica da pele. Este sinal é tradicionalmente associado à tensão física do corpo humano. Quanto maior é a GSC, mais tensa está a pessoa fisicamente. [LIKKEN 1971] e [FREDRICKSON 1979]

de *Aprendizado por Reforço* que controle a colocação de um estilo musical específico na tentativa de melhorar o desempenho de um indivíduo na execução de uma tarefa.

A comprovação da influência da música no comportamento humano [ARAÚJO 2000], abre um leque de influências possíveis da música, que ainda deve ser estudado. A utilização do *Aprendizado por Reforço* se apresenta como uma boa alternativa para estudarmos as relações entre os estilos musicais e uma tarefa de aprendizagem. Conseguir que um agente inteligente controle estilos musicais durante uma tarefa de aprendizagem, pode trazer melhorias ao processo.

Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos na área de sistemas tutores inteligentes. Estes trabalhos demonstram que outros fatores como, a cor de fundo de uma tela, caminhos de estudo dentro do aprendizado à distância, dentre outros, exercem influências significativas durante a execução de uma determinada tarefa. Desenvolvimentos locais do grupo Pireneus tem encontrado estes achados. (MELO 2004; CARVALHO 2002; MEIRELES 2003; NARCIZO 2003)

Nossa proposta é mostrar a aplicabilidade das Redes Neurais Artificiais controlando inteligentemente estilos musicais diante da execução de uma tarefa de Análise Experimental do Comportamento (SKINNER 1938; FERSTER & SKINNER 1957; CATANIA 1999b). A tarefa, denominada “encadeamento” (do inglês, chaining), permite a análise do processo de aquisição de responder de ordenação ou seqüencial. (CATANIA 1999b; BORGES&TODOROV 1989; ASSIS 1987; MALOTT 1997)

## 1.4 Visão Geral dos Capítulos

O presente trabalho compõe-se de três partes principais. A primeira parte diz respeito à fundamentação teórica (capítulos 2, 3 e 4). Na segunda parte, apresentamos o

sistema proposto e, na última, registramos a experimentação de uma implementação específica e realizamos a análise dos dados coletados.

O **Capítulo 2** contém alguns **fundamentos musicais** que serão utilizados nos capítulos seguintes.

O **Capítulo 3** apresenta uma breve revisão sobre Redes Neurais Artificiais, com enfoque em **Aprendizado por Reforço**. As **características, o cálculo da função valor e os métodos de Aprendizado por Reforço**, utilizadas no sistema proposto, serão devidamente contextualizados.

O **Capítulo 4** apresenta as características de **arquitetura, treinamento e medidas de qualidade de uma rede SOM (Self Organizing Maps)**.

No **Capítulo 5**, sugerimos formas de implementação das técnicas da rede SOM e de Aprendizado por Reforço, além do **sistema proposto**.

No **Capítulo 6**, expomos a forma como o sistema foi implementado, assim como o modo que os **experimentos** foram realizados. Adicionalmente, apresentamos os resultados e a conseqüente **análise dos dados**, tanto do ponto de vista da **Estatística Descritiva** quanto da **Estatística Inferencial**.

No **Capítulo 7**, concluimos o trabalho, salientando os **resultados obtidos**, fortalecendo as hipóteses originais (sessão 1.2), confirmando a capacidade do sistema proposto em melhorar algumas medidas.

Com este trabalho, procuramos apresentar uma visão da aplicabilidade da tecnologia de **Redes Neurais Artificiais** em Sistemas Inteligentes como **otimizadores** no processo de **Aprendizagem em humanos**.

## PARTE I

---

### Fundamentação teórica

## Capítulo 2: Fundamentos de Música

*A verdadeira medida de um homem não se vê na forma como se comporta em momentos de conforto e conveniência, mas em como se mantém em tempos de controvérsia e desafio.*

*(Martin Luther King Jr.)*

### 2.1 Introdução

O objetivo deste Capítulo 2 é informar o leitor sobre os aspectos musicais abordados no estudo. Em primeiro lugar, fazemos uma breve explanação sobre as experiências iniciais com sons. Em segundo lugar, falamos de Música e suas origens, dividindo este tópico em ritmo e suas divisões, instrumento *bateria acústica* e suas representações. A representação computacional é o quarto tópico deste capítulo onde registramos algumas interações computador-instrumento musical. Ao final, fornecemos um breve comentário da música e da influência que ela exerce em nossas vidas.

## 2.2 Experiências iniciais com os sons

O ser humano — graças à sua inteligência e à sua capacidade de escutar e falar — desenvolveu uma linguagem própria, que varia de região para região. A partir da linguagem, nomeou entes concretos e abstratos, e estabeleceu regras.

A partir da vibração de um corpo, o som se propaga num meio elástico proporcionando a sensação sonora.

A partir da concepção uterina, o feto passa a perceber os sons advindos do mundo exterior e interior através das sensações corporais ou através do aparelho auditivo, quando este já está formado. O primeiro grupo de sons perceptíveis ao feto são os batimentos cardíacos da mãe, o próprio batimento cardíaco e os sons externos ao corpo da mãe.

Com a utilização de exames de ultra-som em mulheres grávidas, conseguimos perceber as reações do feto quando a mãe emite algum som ou chama pelo bebê.

As formas mais comuns de comunicação são a escrita e a fala. O primeiro ato de comunicação do ser humano, é transmitido a partir do choro no momento do nascimento. O choro nos bebês é inato e as interpretações são as mais variadas.

A partir da terceira semana de vida, o bebê começa a emitir sons intencionalmente que podem ser divididos em quatro grupos distintos: o grito de fome, de cólera, de dor e de resposta à frustração. A partir da quinta semana começa a distinguir a voz materna, mas a imagem da mãe será identificada mais à frente. “O fato é que o espaço sonoro é o nosso primeiro espaço psíquico” [BARCELLOS 1992]

A melodia das canções de ninar reproduzidas pela voz materna, atua como calmante nos bebês levando a um sono reconfortante.

Com o passar dos meses, o bebê imita os sons que ouve (dos pais, avós, irmãos, etc.). A partir da associação das palavras a determinados objetos e da reprodução destes

sons, o bebê passa a interagir com o ambiente que o cerca, iniciando assim a comunicação formal.

A fala é produzida pela união de várias condições estruturais e funcionais do corpo humano. O formato do crânio, das cordas vocais, o posicionamento da língua dentro da boca, o formato da cavidade bucal e o ar expirado dos pulmões, viabilizam uma das mais ricas formas de comunicação. Com as palavras produzidas com a voz, podemos seduzir, acalmar, agredir, murmurar e exaltar. Podemos imitar sons de instrumentos musicais, reproduzir melodias, expressar sentimentos.

## 2.3 Música

Segundo o dicionário Aurélio Eletrônico de 1999, “Música” é um verbete da língua portuguesa de origem grega ‘*Mousike*’. É uma homenagem às Nove Musas da Inspiração. Em outra definição é a “Arte e ciência de combinar os sons de modo agradável ao ouvido”.

Não se pode precisar quando a música foi criada, mas, observando as tribos indígenas, percebemos que a Música é usada como forma de louvor, agradecimento e pedidos aos deuses. Atualmente, muitas religiões utilizam a música com o mesmo fim.

Em uma das escrituras mais antigas de que se tem notícia, a Bíblia, existem relatos em que o povo levanta sua voz a entoar cânticos. Em “Gênesis”, capítulo 4, versículo 21, a pessoa de Jubal, filho de Lameque, se tornou *o pai de todos os que tocam harpa e flauta*. No Capítulo 31, Versículo 27, é narrado um episódio envolvendo Labão e Jacó, onde os tambores e harpas são empregados para acompanhar cânticos de alegria. Em geral, a música é citada na Bíblia como ferramenta útil na cura de pessoas enfermas.

capaz de mobilizar estados emocionais. Platão recomendava a música na cura de fobias. Os gregos utilizavam-se da música nas suas observações clínicas, podendo ser considerados precursores da Musicoterapia.

Estudos feitos em cavernas no sudoeste da França, que continham maior número de pinturas, revelaram que os salões com melhor acústica eram usados em cerimônias religiosas e envolviam a músicas. Atualmente, existem projetos específicos para teatros, casas de shows e igrejas, onde a acústica da edificação não é menosprezada.

O compositor mescla ritmo, harmonia, melodia e letra, em geral criando verdadeiras obras de arte. Ele precisa ter a noção exata dos instrumentos musicais adequados para cada estilo musical. “O piano é o instrumento ideal para um compositor, permitindo-lhe tocar várias vozes ao mesmo tempo” [JOURDAIN 1998].

### 2.3.1 Ritmos

O Dicionário Aurélio Eletrônico (1999) defini ritmo como sendo “um verbete da língua portuguesa de origem grega ‘*rhythμός*’ pelo latim ‘*rhythmu*’”, demonstrando idéia de um movimento regrado e medido. Outra definição é de “Movimento ou ruído que se repete, no tempo, a intervalos regulares, com acentos fortes e fracos”.

“Ritmo” são as batidas em espaços simétricos de tempo. A partir de sons emitidos pelo bater dos pés, mãos e objetos, a música começou a tomar formato rítmico. Alguns objetos eram confeccionados utilizando couro de animais. O couro era esticado contra orifícios em pedaços de madeira, dando origem aos tambores. A pressão dada aos pedaços de couro contra os orifícios na madeira, bem como a força da batida no couro, promoviam uma maior variação sonora.

Assim como nas notas musicais, podemos descrever algumas particularidades rítmicas como:

- **Duração:** propagação sonora da nota em um intervalo de tempo determinado;
- **Timbre:** no contexto de percussão, a pressão da pele de um tambor em relação ao diâmetro, à profundidade e à espessura da madeira provocam um som diferenciado;
- **Acentuação:** no contexto da música, uma nota é tocada com maior pressão ocasionando uma maior altura sonora.

A combinação destas três características proporciona variadas combinações musicais.

Quando escutamos uma música, podemos perceber sua **pulsação**. São batimentos ritmados que nos lembram as batidas do coração. A pulsação pode ser determinada por aparelhos. O **metrônomo** (Figura 1) é um aparelho utilizado para determinar o ritmo da música a ser executada, contado em batimentos por minuto (BPM). Os músicos utilizam-se deste recurso durante os ensaios, mantendo as batidas dentro do ritmo ou pulsação. O metrônomo pode ser mecânico ou digital. Existem músicas que variam seu ritmo durante sua execução, podendo aumentar ou diminuir.

A junção de vários objetos batidos em momentos de tempo diferentes, enriquecem a música ou um conjunto de sons.



Figura 1: Metrônomo mecânico a corda

O ritmo induz ao movimento que por sua vez sugere uma dança. A dança e a música combinadas proporcionam vários espetáculos culturais pelas diferentes regiões. Cada civilização demonstra seus costumes de forma diferente. As diferenças rítmicas aliadas aos instrumentos musicais da região, trazem, através dos antigos rituais, o agradecimento pela boa colheita, pela boa caça ou para espantar maus pensamentos. Estes rituais podem ser encontrados desde os povos indígenas até a civilização mais moderna.

### 2.3.2 Divisão dos ritmos

Os ritmos podem ser medidos em BPM. Para facilitar o entendimento iremos tratar como **lentos**, **moderados** e **rápidos** dependendo da diferença de tempo existente entre uma batida e outra.

- I. Lento: tempo **longo** entre batidas. Normalmente são utilizados em músicas que sugerem a paixão, melancolia, lamentação e reflexão;
- II. Moderado: tempo **médio** entre batidas. Normalmente são utilizados em música ambiente sugerindo normalidade;
- III. Rápido: tempo **curto** entre batidas. Normalmente são utilizados em músicas que sugerem alegria, comemoração e ou perturbação.

Podemos dizer que o ser humano e os animais possuem alguns ritmos naturais como a respiração e o andar. Os batimentos do coração são ditados pelas ações. Quando estamos alegres ou agitados, o coração bombeia sangue em ritmo acelerado. Quando calmos ou descansados, o ritmo do coração é mais lento. As reações cerebrais comandam este ritmo de acordo com a necessidade corpórea.

Um dos instrumentos que melhor representa o ritmo é a bateria. Podemos encontrar atualmente no mercado, baterias eletrônicas ou baterias acústicas. Para efeito de explicação, vamos representar e explicar somente a bateria acústica.

### 2.3.3 Bateria acústica

A bateria acústica (Figura 2), é um conjunto de peças formadas por ferros, madeira e peles. Em uma configuração básica podemos contar cinco tambores e três pratos além das estantes de sustentação dos pratos e banco para o baterista.



**Figura 2: Bateria Acústica com pratos e estantes**

Cada peça, no conjunto da bateria, possui seu som particular, são elas:

- **Hit Hat ou Chimbali**

São dois pratos, um virado para cima e outro virado para baixo sendo acionado um contra outro por um pedal. O som produzido é metálico e agudo. Quando o pedal está pressionado, produz um som curtíssimo e não muito alto. Quando o pedal está levemente pressionado, o som é mais alto e com uma

duração breve. Com o pé fora do pedal, o som produzido é bem alto e com longa duração.

- **Crash ou prato de ataque**

Produz um som metálico, muito alto e de longa duração;

- **Ride ou prato de condução**

Utilizado normalmente nos refrões das músicas produz um som metálico muito parecido com o som de um sino;

- **Caixa**

É também conhecida como “tarol” nas bandas de fanfarra. De pouca profundidade e com uma esteira fina de ferro, em forma de espiral, colada à pele de baixo, a caixa produz um som alto e é constantemente utilizada. Utilizando uma ponta da baqueta na pele e a outra extremidade batendo no aro da caixa, o som produzido é mais suave;

- **Ton 1**

Utilizado normalmente antes dos refrões. O som produzido é menos grave;

- **Ton 2**

Utilizado normalmente antes dos refrões. O som produzido é medianamente grave;

- **Surdo**

Produz um som grave e de longa duração. É muito utilizado para demonstrar peso nas músicas, como sons tribais;

- **Bumbo**

É acionado por um pedal com uma baqueta em formato de martelo. Produz um som grave e de curta duração. É utilizado para marcar o ritmo da música. Normalmente define a pulsação da música.

#### 2.3.4 Teoria musical para bateria

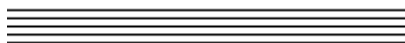
Para tocar bateria são utilizadas baquetas (Figura 3). Usadas em pares, variam quanto ao peso, comprimento, diâmetro e tipo da ponta (madeira ou náilon). Existem ainda baquetas formadas pela união de varetas mais finas. São usadas para músicas com sonoridade mais acústica. Varetas de náilon ou de ferro produzem um som menos agressivo aos ouvidos.



**Figura 3: Baquetas de madeira. Ponta de madeira e de náilon**

#### PAUTA MUSICAL

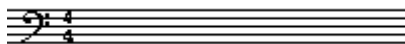
A pauta musical ou pentagrama (Figura 4) é o conjunto de cinco linhas, contadas de baixo para cima, e quatro espaços, contados da mesma maneira. A linguagem dos instrumentos musicais é escrita sobre a pauta utilizando símbolos variados.



**Figura 4: Pauta musical**

#### CLAVE

A Clave de Fá (Figura 5) é utilizada na quarta linha, para a escrita da bateria. Ela sempre vem acompanhada de Fração de Compasso, que define o tempo da música. A Clave de Sol é utilizada para outros instrumentos.



**Figura 5: Clave de Fá**

## BARRA DE COMPASSO

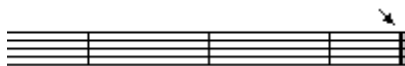
Barras de compasso (Figura 6) são barras que cortam verticalmente a pauta, e determinam a separação dos compassos.



**Figura 6: Barra de compasso**

## BARRA DUPLA

Barras duplas (Figura 7) são barras que indicam o fim de um período musical ou rítmico. São usadas, no final das peças musicais sendo a primeira barra simples e a segunda em negrito.



**Figura 7: Barra de dupla**

## ACENTO

O acento (Figura 8) Indica que devemos tocar com maior volume as notas em que os sinais estiverem aplicados. Na execução de um trecho musical, os acentos proporcionam grande flexibilidade em termos de dinâmica e expressão musical.



**Figura 8: Acento**

Existem ainda outros sinais de acentuação.

## INDICADORES DE MÃOS

Os indicadores de mão (Figura 9) indicam com qual das mãos a figura musical deve ser executada [GOLDSTEIN 1999]. A letra R (*right*, do inglês direito), indica que devemos percutir determinada figura com a mão direita e L (*left*, do inglês esquerdo), com a mão esquerda. As letras indicadoras de mãos são escritas acima da figura e são utilizadas somente para bateria e percussão.



Figura 9: Indicadores de mãos

## PULSAÇÃO

A pulsação correta (Figura 10) de uma música é representada por uma homogeneidade entre as batidas, enquanto a pulsação errada não possui esta homogeneidade.

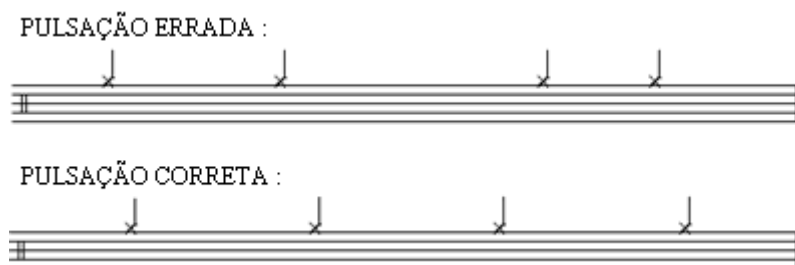


Figura 10: Pulsações erradas e certas

Partitura (Figura 11) utilizando batidas no Chimbal, Caixa e Bumbo (nesta ordem de cima para baixo)



Figura 11: Seqüência musical para bateria (chimbal, caixa e bumbo)

### 2.3.5 Representação dos ritmos na bateria

As combinações rítmicas tocadas em uma bateria, caracterizam **estilos musicais** diferentes. Os estilos musicais, cada um com a sua origem, foram mostrados ao mundo pelos meios de comunicação em massa. Atualmente experimentam uma miscigenação constante, o que para uns é uma descaracterização da cultura regional, para outros é uma apoteose de sons.

Alguns softwares<sup>2</sup> são utilizados na montagem de músicas e podem ser encontrados na Internet. Será usada a representação abaixo (ver Figura 12) para facilitar a compreensão.

A montagem de um ritmo na bateria é a seguinte:

- Os “#” pretos determinam quando o instrumento será tocado
- Os quadrados brancos determinam ausência da nota para o instrumento
- No quadrado a direita, cada linha contém o nome do instrumento que será tocado.

No “Blues”, ritmo muito conhecido pelo improviso no momento da execução, o baterista utiliza o “Ride” ou prato de condução com um número maior de repetições e em ritmo mais lento. A batida do bumbo varia entre uma, duas e até cinco batidas seguidas, podendo variar o número de espaços entre uma sequência e outra. A batida da caixa é direto na pele e com um grande número de espaços entre as notas, como mostra a Figura 12.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |          |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------|
| # |   |   |   | # | # | # | # | # |   |   | # | # |   | # | Bumbo    |
|   |   | # |   |   |   | # |   |   |   | # |   |   |   | # | Caixa    |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | Chimbal  |
| # | # | # | # | # | # | # | # | # | # | # | # | # | # | # | Condução |

**Figura 12: Representação musical de Blues.**

<sup>2</sup> Cake walk®, Digital rythm Box®

No “Rock”, uma das características mais marcantes, é utilizar uma batida constante no chimbal, algumas vezes entreaberto, em ritmo mais rápido. Após as duas batidas do bumbo, acontece juntamente com a ausência do bumbo, uma batida na caixa seguida de três repetições do bumbo, outra ausência do bumbo com mais uma batida na caixa e assim o ciclo se repete como na Figura 13.

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |          |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|
| ## | ## |    | ## | ## | ## |    | ## | ## | ## |    | ## | ## | ## |    | ## | Bumbo    |
|    |    |    | ## |    |    |    | ## |    |    |    | ## |    |    |    | ## | Caixa    |
| ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | Chimbal  |
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ## | Condução |

**Figura 13: Representação musical de Rock básico**

Na “Bossa Nova”, a marcação no chimbal é constante. A batida na caixa acontece utilizando o aro da caixa. A batida do bumbo é intercalada com as batidas da caixa e eventualmente caixa e bumbo são tocados juntos. Veja Figura 14

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |          |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|
| ## |    |    | ## | ## |    |    | ## | ## |    |    | ## | ## |    |    | ## | Bumbo    |
| ## |    |    | ## |    |    |    | ## |    |    |    | ## |    |    |    | ## | Caixa    |
| ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | Chimbal  |
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Condução |

**Figura 14: Representação musical de Bossa Nova**

No Reggae, tocado em ritmo lento, as batidas no chimbal são dobradas em relação ao Rock básico e possuem pequenos intervalos intercalados. As batidas na caixa e bumbo são eventuais. Veja Figura 15.

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |          |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|
| ## |    |    | ## | ## |    |    | ## |    |    | ## | ## |    |    |    |    | Bumbo    |
|    |    |    | ## |    |    |    | ## |    |    | ## |    |    |    |    | ## | Caixa    |
| ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | ## | Chimbal  |
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Condução |

**Figura 15: Representação musical de Reggae**

Cada ritmo possui sua característica, podendo ser representado.

## 2.4 Representação computacional

Como já vimos nos tópicos anteriores, podemos descrever a música utilizando representações de instrumentos musicais e suas notas em pautas musicais. Desde o início do aparecimento dos computadores, o homem vem descobrindo maneiras de facilitar sua vida com esta tecnologia. Com a música não foi diferente, mas no início das atividades musicais nos computadores, houve a necessidade de se encontrar padrões de como representar todo o legado literário da música e passá-lo para esta nova ferramenta, o computador.

Centenas de projetos de padronização da representação musical computacional foram sugeridos, mas apenas uma dúzia desses projetos foram ambiciosos em construir linguagens de representação não ambíguas e completas para uso geral. Por várias razões, nenhum destes projetos ambiciosos acabou vingando ou sendo adotado. Este fato ocorreu em meados de 1970 e 1980 quando os computadores experimentavam ainda sua infância e não possuíam ainda recursos representativos ou facilitados. Dois dos fatores considerados foram:

A expectativa de que as interfaces gráficas nos computadores, ainda quase inexistentes, viessem facilitar tais representações e que estas não estivessem ligadas a interesses particulares.

“Representar alguma coisa, é criar um mapeamento entre o objeto de origem com seu significado e um objeto alvo independente ou significador”.[HURON 1992]

Para que tenhamos uma boa representação, algumas características devem ser obedecidas não existindo uma ordem de importância definida entre elas.

Cada **símbolo**, ou significador, deve ter um **único significado**. Um exemplo comum é a presença de dois alunos com o mesmo nome principal. No momento em que o

professor faz a chamada, faz-se necessário utilizar o sobrenome para diferenciá-los. O mesmo acontece quando encontramos gêmeos idênticos vestidos com roupas iguais. É necessário encontrar algo que os diferencie, como alguma marca ou cicatriz, para associarmos o nome à pessoa.

O ser humano possui uma grande capacidade de armazenar informações. Devido ao grande volume de informações existente hoje em dia e a facilidade de acesso, temos facilidade em esquecer certas coisas. Uma boa representação é estabelecida pela **fácil associação** entre o significador e o significado. Quanto mais representativo for o símbolo, mais fácil e rápida será a lembrança. Nem todos os símbolos musicais são facilmente representados.

A **reversibilidade** é levada em consideração, pois a representação deve, além de facilitar a associação entre o significado e o símbolo, possibilitar o processo inverso onde, a partir do símbolo, encontra-se o significado.

A utilização de **notações** escritas deve ser **curta**. Não é aconselhável dar um nome a uma representação que tente exprimir todo o sentido em uma única palavra. Apesar de termos uma representação total somente com o nome, ele pode ficar muito carregado em sua visualização. Um exemplo disso são os nomes atribuídos às variáveis em programas ou nomes de funções.

Nomes misteriosos podem dificultar o entendimento, nem sempre diminuem o esforço mental na identificação do significador. Desta forma podem representar redundância no entendimento ocasionando erros.

A **estrutura de representação** deve ser mantida. Na representação musical, a estrutura definida estabelece um relacionamento entre linhas e colunas. Caso o vínculo seja desfeito, a noção de simultaneidade da seqüência musical será prejudicada. Em uma bateria, podemos ter várias peças sendo tocadas simultaneamente ou alternadamente. Esta

representação pode ser vista na Figura 11. A figura mostra uma seqüência musical básica de uma música.

Alguns símbolos podem apresentar **dependência de contexto**, uns mais e outros menos complexos. Uma nota musical como o “DÓ” pode, dependendo da posição na pauta (Figura 4) e da clave (Figura 5), emitir sons diferentes. Isto sugere uma dependência entre a nota, a pauta e a clave utilizada.

Para qualquer idioma ou nacionalidade, o entendimento deve ser natural a todos. A **representação** deve ser **universal**.

**Independentemente do contexto**, a representação deve manter seu significado isoladamente ou em grupos de significados.

Não é necessário que um símbolo exista em todas as situações. Ele deve ser **opcional** e usado somente quando for necessária sua representação. Em uma determinada música, a caixa da bateria pode não ser usada, com isso não será representada. Quando for necessário, deve ser **passível de evolução** e melhoramentos.

Foram necessários vários modelos para chegar ao que atualmente utilizamos como modelo de representação musical. Hoje podemos representar qualquer nota musical com os modelos existentes. Caso haja alguma novidade no mundo musical, alguma representação deverá ser criada para ser registrada. É a evolução da música.

Dependendo do objetivo que se deseja alcançar, podemos definir qual a representação e quais os significado para cada uma delas.

## 2.5 Conclusão

Neste capítulo falamos sobre as primeiras experiências sonoras dos seres humanos e das condições estruturais e funcionais do corpo humano quanto à produção do som.

Vimos um pouco da história da música entrando em detalhes quanto aos ritmos e suas divisões. Detalhamos a bateria acústica com suas peças e representações teóricas. A representação computacional foi o último tópico lembrando a história das primeiras representações musicais em computadores e suas características básicas.

No próximo capítulo veremos as técnicas de *Aprendizado por Reforço* e em seguida as redes SOM (Self Organizing Maps), base teórica utilizada em nosso sistema proposto.

## Capítulo 3: Aprendizado por reforço

*“A civilização é o aperfeiçoamento do homem pela educação”*

*Adão Myszak*

### 3.1 Introdução

O homem traçou modelos do funcionamento do cérebro humano, através dos seus estudos científicos. Tal funcionamento inspirou cientistas computacionais na tentativa de fazer com que máquinas (computadores) tivessem o processo de aprendizado como uma linha mestra, para que sistemas computacionais pudessem aprender determinadas tarefas. O que até pouco tempo atrás parecia ficção científica, começou a se tornar realidade a partir do ano de 1943, com o pioneirismo de Warren McCulloch e Walter Pitts [MCCULLOCH&PITTS 1943]. Eles desenvolveram o primeiro modelo artificial de um neurônio biológico e se concentraram mais no intuito de apresentar capacidades computacionais do que técnicas de aprendizado [BRAGA 2000].

Sistemas Inteligentes é o termo utilizado para se referir a sistemas que, após um período de “Aprendizagem” de determinadas tarefas, são capazes de generalizar padrões de entrada do problema e imitar respostas. Isso ocorrerá mesmo que determinados pontos não tenham sido conhecidos anteriormente [MELO 2004].

Redes Neurais Artificiais, como o próprio nome sugere, é a representação das redes neurais humanas, abstraídas para os modelos computacionais. Daí surge o termo

“artificial”, onde computadores podem desenvolver atividades similares às de um humano no tocante ao aprendizado. São chamados de “*Sistemas Conexionistas*”, baseando-se nas conexões e organização do cérebro humano.

No processo de desenvolvimento de programas informatizados convencionais, faz-se necessário que todas as ações do futuro sistema sejam conhecidas e delineadas pelo analista de sistemas. Este deve desenhar os fluxos de informações e de processos, para depois desenvolver os programas, que apenas executarão a tarefa definida. Caso haja alterações nos fluxos ou nos processos, alterações serão necessárias para que as novas situações sejam contempladas. Isto demanda tempo e investimentos constantes na manutenção de tais programas.

As Redes Neurais Artificiais vêm trazer um novo horizonte de soluções para cientistas, desenvolvedores e programadores, fazendo com que os programas se adaptem a determinadas mudanças de situações.

A “Inteligência artificial”, que trata da elaboração de representações simulando a inteligência, se dividiu em duas abordagens: a **Simbólica** e a **Conexionista**. A **simbólica** trata da implementação de **regras** extraídas das observações de seres vivos. A **conexionista**, parte da capacidade do sistema **aprender** por exemplos, utilizando um modelo de conexão entre neurônios (artificiais) para executar uma tarefa que não possui uma modelagem lógica bem definida.

Donald Hebb publicou em seus estudos da Psicologia em 1949 relatando a importância das ligações entre as sinapses e o processo de aprendizagem. Rosenblatt em 1958 descreveu o primeiro modelo operacional de uma rede neural incluindo as idéias de Hebb. [KASABOV 1996,HAGAN 1995]

Na abordagem Conexionista, fazem parte três importantes formas de aprendizado: Aprendizado Supervisionado, Aprendizado Não Supervisionado e Aprendizado por Reforço.

*Aprendizado Supervisionado:* Também chamado de “aprendizado com professor” ou “aprendendo por associação” [HASSOUN 1995]. Na fase de aprendizado, são apresentados por um supervisor, os padrões de entrada e suas saídas esperadas. O sistema aprende estabelecendo um mecanismo de mapeamento genérico de um conjunto de entradas e seu conjunto de saídas arbitrárias. A desvantagem deste tipo de rede é que no momento da solução do problema propriamente dito, pode aparecer um padrão de entrada que não foi apresentado na fase de treinamento e que sem o supervisor, o sistema não conseguirá responder ao padrão, podendo levar a erros na execução.

*Aprendizado Não Supervisionado:* Na fase de treinamento, temos a ausência de um padrão de saída determinado. Não existindo uma associação prévia entre os padrões de entrada e a saída desejada, o sistema desenvolverá uma representação própria das características encontradas, determinando assim as mais relevantes. Serão formadas representações internas através da competição entre os padrões, que codificarão características da entrada criando classes ou grupos automaticamente. Caso não haja redundância entre os dados de entrada, as representações podem ficar comprometidas, chegando a ponto de não serem criadas [BRAGA 2000].

*Aprendizado por Reforço (AR):* Tem como base aprender o que fazer para maximizar o sinal de retorno numérico mapeando as situações para as ações. Ao aprender, não é dito qual ação deve ser tomada, assim como em várias máquinas de aprendizado, ao invés disto, ele deve descobrir qual ação produz o maior retorno através de suas próprias tentativas. Tentativa e erro são as características mais importantes deste método [SRS&BAG 1998]. À medida que os padrões vão sendo apresentados para o sistema, é fornecida não a resposta correta esperada, mas sim um indicativo de acerto ou de erro. No caso de um retorno errado, o sistema não fica sabendo por que ou o que estava errado. Através de tentativas e erros, o sistema vai traçando uma representação de como terminar a tarefa. O aprendizado acontece fornecendo **recompensas** ou **punições** a cada par

entrada/saída justificando o nome “Aprendizado por Reforço”. A avaliação do sistema é simultânea ao aprendizado, onde se faz necessária a exploração do ambiente com o objetivo de mapeá-lo. Três fatores são levados em consideração para que o sistema possa mapear a dinâmica de cada ambiente, são eles: **estado**, **ação** e **recompensa** que serão detalhados adiante.

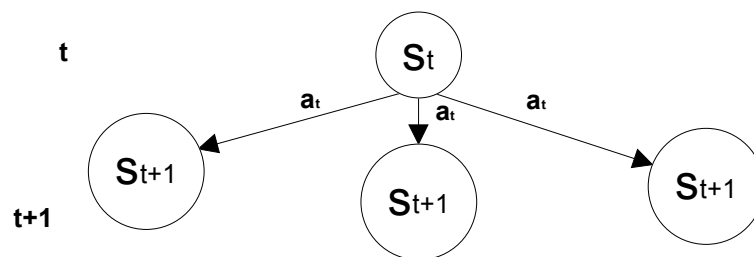
### 3.2 Conceitos básicos

O ser humano desde o momento do seu nascimento luta para sobreviver, e durante toda sua vida, passa por novas situações através da interação com seu habitat natural onde ele acaba tendo que se adaptar ao meio para continuar vivo e de forma agradável. Durante estas interações, ele registra as sensações recebidas e memoriza de forma positiva ou negativa cada uma delas. Nas *Redes Neurais* que utilizam *Aprendizado por Reforço*, uma característica interessante é que a avaliação do sistema é simultânea ao aprendizado, onde a exploração do seu ambiente é fundamental, assim como nos seres humanos. Com isto temos o *mapeamento dos estados* onde devemos buscar as ações que devolvam o maior retorno possível.

*Aprendizado por reforço* tem como base, aprender o que fazer para maximizar o sinal de retorno numérico mapeando as situações para as ações [SRS&BAG 1998].

O *Aprendizado por Reforço* funciona através de um algoritmo apropriado que processa as informações obtidas do ambiente, parcialmente desconhecido, a partir das interações do agente com o ambiente. Não é necessário conhecer completamente este ambiente. O objetivo é obter uma **Política Ótima**, que ocorre quando o agente consegue avaliar cada estado e definir uma política, dentro do ambiente, que lhe proporcione o melhor retorno. Nada mais são do que regras de como o sistema trata os reforços e punições, caso não se conheça a função que modela esta política.

O modelo padrão deste tipo de aprendizado possui um **agente** que, além de ser aprendiz, toma decisões e acumula experiências a cada passo. O agente está, através dos seus *sensores*, percebendo o ambiente, que é o conjunto de todos os elementos externos a ele [ARAÚJO 2000]. *Motores* implementam as ações tomadas pelo agente, que continuamente se repetem apresentando novas situações. As recompensas e as punições fornecidas são valores numéricos especiais, normalmente, positivos ou negativos, respectivamente. Isto permite afirmar que quanto maior a recompensa total até o final da **tarefa**, melhor a interação com o ambiente.



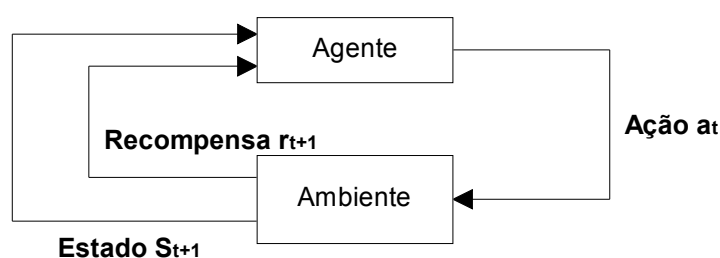
**Figura 16: Transições possíveis de um estado atual  $S_t$  e os estados  $S_{t+1}$ .**

Em uma determinada **tarefa**, o agente terá, a passos de tempo  $t$ , uma representação do estado do ambiente,  $s_t \in S$ , onde  $S$  é conjunto dos **estados** possíveis.

Veja na Figura 17 que, a partir deste estado  $s_t$  o agente irá selecionar a próxima **ação**  $a \in A(s_t)$ , onde  $A(s_t)$  é o conjunto das ações disponíveis entre o estado  $s_t$  e o estado  $s_{t+1}$ . Estas ações afetam o ambiente ao transitarem de um estado para outro.

No passo seguinte,  $s_{t+1}$ , em parte como uma consequência de sua ação, o agente receberá uma **recompensa** numérica, chamada de reforço escalar tipicamente entre  $[0,1]$ .

A interação entre o agente e o ambiente ocorre como se segue:



**Figura 17: Arquitetura AR. Interação agente e ambiente.**

O dilema do Exploration x Exploitation nos traz à reflexão de como descobrir as melhores ações. O sistema pode ficar com as informações já descobertas (Exploration) ou buscar novas informações (Exploitation) [SRS&BAG 1998]. No primeiro caso, o sistema deve descobrir entre ações desconhecidas já início da tarefa. No segundo, mesmo conhecendo determinada ação, o sistema deve tentar novas ações à medida que o mapeamento do ambiente é montado.

### 3.2.1 Fronteira entre agente e ambiente

Com o conhecimento do nosso corpo físico e do ambiente que nos envolve, acabamos tendo uma visão errônea do que realmente faz parte do agente e do ambiente. A explicação correta para o agente é imaginarmos a representação da mente humana e a do ambiente, todo o resto como músculos, esqueleto e os órgãos.

Para um robô, são considerados partes do ambiente os limites das ligações mecânicas até o hardware, e os motores. A Unidade de Processamento Central (UPC) é considerada o próprio agente.

### 3.2.2 Regra para localizar as fronteiras

Para definir onde está a fronteira entre agente e ambiente, podemos dizer que qualquer coisa que não pode ser mudada pelo agente arbitrariamente faz parte do ambiente. Então a fronteira é o limite do controle e o agente do conhecimento.

O agente tem algumas informações sobre o ambiente. Ele sabe como a punição e o reforço serão fornecidos de acordo com suas ações, apesar do cálculo ser processado fora do agente. O agente pode até saber tudo sobre o ambiente e nem por isto saber aprender de forma rápida. É como saber as regras de um jogo, mas não jogar bem. Isto acontece diariamente quando somos desafiados em um determinado jogo que não temos habilidade.

Quando falamos em agentes de baixo nível, estamos nos referindo similarmente a um robô, que precisa definir qual a tensão de energia ele deve produzir para um determinado motor de movimentação da perna, enquanto o de alto nível tem uma visão mais ampla e precisa decidir em qual direção deve ir. Neste caso, temos vários agentes, cada um com suas fronteiras.

### 3.2.3 Objetivos e recompensas

Cada agente possui um objetivo dentro da sua tarefa. O objetivo do agente é maximizar o volume total das recompensas recebidas. A cada passo de tempo  $t$ , uma recompensa (reforço ou punição) é atribuída ao agente, devendo no final da tarefa ter este valor totalizado. A cada sinal retornado, o agente irá direcionar as ações para tentar alcançar o seu objetivo final, o uso deste sinal é o que distingue o *Aprendizado por reforço*.

Exemplos:

- Fazer um robô buscar uma bola dentro de uma sala e retornar ao ponto inicial, recompensa são fornecidas a cada passo de tempo que o robô chega a cada uma das fases.
- Em jogos de dama, damos uma punição de menos um ( $-1$ ) para quando perde o jogo, zero ( $0$ ) para empate e um ( $1$ ) para vitória.

Incentivar o agente a atingir sub-objetivos, pode levá-lo a não terminar a tarefa principal priorizando somente os secundários.

A idéia principal é dizer para o agente “O que” você quer que ele faça e não “Como” ele deve fazer, para atingir os objetivos.

### 3.2.4 Política

Um mapeamento dos estados se dá a cada passo do agente, para indicar a probabilidade de selecionar cada ação possível. **Política do agente** é o nome dado para

este mapeamento que é denotado por  $\pi_t$ , representando o comportamento que o sistema segue para alcançar o objetivo, onde  $\pi_t(s, a)$  é a probabilidade de  $a_t = a$  se  $s_t = s$ . Esta política dá o direcionamento para o agente mudar, de acordo com os resultados alcançados, sua política. Uma **Política Ótima** é denotada por  $\pi^*(s,a)$

A definição de uma política é considerada o ponto central do *Aprendizado por Reforço*.

### 3.2.5 Local de processamento da recompensa

Como já definimos anteriormente a fronteira entre *agente* e *ambiente*, podemos dizer que as recompensas serão fornecidas pelo ambiente (fora do agente), permitindo que o agente estabeleça internamente formas de recompensas. Muitos métodos de *Aprendizado por Reforço* fazem isto.

### 3.2.6 Retorno

Para podermos maximizar as recompensas e chegar ao objetivo final da tarefa, precisamos registrar os retornos recebidos, onde a cada passo de tempo  $t$  o retorno é registrado. Vamos denotar a sequência de retornos conforme a equação E.3.1, onde  $R_T$  é o retorno total e  $T$  o passo de tempo final. Isto indica aplicações episódicas. Este é o caso mais simples de soma de recompensas.

Reforçar o retorno imediato nem sempre quer dizer reforçar o retorno total.

$$R_T = r_{t+1} + r_{t+2} + r_{t+3}, \dots, r_T \quad (E.3.1)$$

Algumas interações entre agente e ambiente, terminam em um **episódio**, mas na maioria dos casos são tarefas de controle contínuo ou simplesmente **Tarefas Contínuas**.

### 3.2.7 Tarefas Episódicas e Contínuas

Entendemos episódios como sendo uma sequência de fatos com um tempo final definido. Assim como partidas de um jogo de basquete ou qualquer tipo de interação repetitiva.

Quando um episódio termina, dizemos que chegou ao *estado terminal*, podendo reinicializar para um novo estado inicial. Assim são chamadas de **Tarefas Episódicas**.

Quando as interações entre agente e ambiente progridem sem limites ou não conseguimos identificar estes episódios, damos o nome de **Tarefas Contínuas**. Um exemplo seria um robô em que o ciclo de vida seja longo.

Para as tarefas contínuas, fica difícil maximizar o retorno da tarefa já que o tempo final seria  $T = \infty$ .

### 3.2.8 Desconto

Para os problemas de tarefas contínuas, foi implementada a **Taxa de Desconto**  $\gamma$  tornando o cálculo do retorno conceitualmente mais complexo, mas matematicamente simplificado.

$$R_T = r_{t+1} + \gamma r_{t+2} + \gamma^2 r_{t+3} + \dots r_T = \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} \quad (E.3.2)$$

A taxa de desconto  $\gamma$  é um parâmetro entre zero e um e determina o valor das recompensas futuras.

Se aplicarmos parâmetros entre zero e um à equação, veremos que quanto menor for o valor de  $\gamma$ , menos importância terão os valores anteriores e com isto maximizará os valores atuais. Esta é a **Visão Míope**. Se o valor de  $\gamma$ , for mais próximo de um (1), maior importância terão os valores anteriores. Esta é a **Visão Ampla**.

### 3.2.9 Funções de Reforço

Cada função de reforço possui seu grau de complexidade e podem ser definidas como:

- Reforço só no estado final
- Tempo mínimo até o objetivo
- Minimizar reforços
- Reforço imediato
- Função valor

Para efeito do nosso trabalho, iremos definir apenas Função Valor.

## 3.3 Funções valor

Um dos pontos principais do *Aprendizado por Reforço* é saber se as escolhas feitas pelo agente são boas. A **Função Valor** estabelece uma medida para saber qual ação tomar. Esta função estima o quão boa ela é para um agente em um determinado estado, isto referente à medição de futuras recompensas que podem ser esperadas (retorno esperado) a partir da ação tomada.

A maioria dos algoritmos AR utiliza a estimativa de **Função Valor** denotado por  $V^\pi$ , funções de estado ou pares ação-estado. Se a função valor considerar apenas o estado  $s$ , então é representada por  $V(s)$ , caso considere o par estado-ação, então será representada por  $Q(s, a)$ .

*Processos de Decisão de Markov* são definidos como espaços de estado e ação finitos. Para estes processos, podemos definir a Função de valor, representada por  $V^\pi(s)$  seguindo a política  $\pi$ , conforme (E.3.3).

$$V^\pi(s) = E_\pi \{ R_t | s_t = s \} = E_\pi \{ \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} | s_t = s \} \quad (E.3.3)$$

$E_\pi \{ \}$  representa o valor esperado dado que o agente segue a política  $\pi$

A função valor  $V^\pi(s)$  é o valor de retorno esperado para o estado atual  $s_t = s$ , que é a somatória dos reforços aplicando  $\gamma$  (taxa de desconto).

Considerando o par estado-ação, a equação (E.3.4) passa a ser representada por  $Q^\pi(s, a)$ , diferenciando da equação anterior apenas pela associação entre o estado ( $s_t = s$ ) e a ação ( $a_t = a$ ).

$$Q^\pi(s, a) = E_\pi \{ R_t | s_t = s, a_t = a \} = E_\pi \{ \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} | s_t = s, a_t = a \} \quad (E.3.4)$$

Tanto a função valor  $V^\pi(s)$ , quanto a função estado ação  $Q^\pi(s, a)$ , dependem dos valores de reforço. Para isto é necessário o conhecimento da dinâmica do ambiente assim como um *Processo de Decisão de Markov*, anteriormente citado. Podem ser estimadas através de experiência. Um exemplo disto se dá quando o agente segue uma política e mantém uma média do retorno real seguida naquele estado, isto para cada estado encontrado. Com isto, a média irá convergir para  $V^\pi(s)$ , de acordo com o número de vezes que o estado é encontrado se aproxima do infinito. O mesmo irá acontecer para cada ação tomada naquele estado convergindo para  $Q^\pi(s, a)$ .

**Métodos de Monte Carlo** utilizam estimativas, que usam a média através de amostras aleatórias de retornos reais. Veremos este método nos tópicos posteriores.

Se tivermos muitos estados, a manutenção de médias separadas para cada estado pode não ser uma boa opção. Para isto o agente deve parametrizar e ajustar os parâmetros, tanto do valor estado  $V^\pi$  e valor ação  $Q^\pi$ , combinando melhor os resultados observados. Isto pode produzir estimativas precisas, embora dependa muito da natureza do aproximador de funções parametrizadas.

### 3.3.1 A propriedade fundamental das funções valor

As *funções valor* satisfazem os relacionamentos recursivos particulares e para qualquer política  $\pi$  e qualquer estado  $s$ , a seguinte condição de consistência se mantém entre o valor de  $s$  e o valor de seus estados sucessores possíveis: [SRS&BAG 1998].

$$V^\pi(s) = E_\pi \{ R_t \mid s_t = s \} \quad (E.3.5)$$

$$V^\pi(s) = E_\pi \{ \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} \mid s_t = s \} \quad (E.3.6)$$

$$V^\pi(s) = E_\pi \{ r_{t+k+1} + \gamma \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+2} \mid s_t = s \} \quad (E.3.7)$$

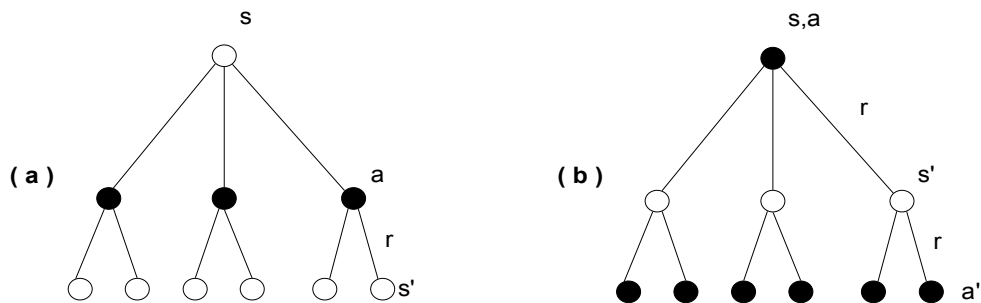
$$V^\pi(s) = \sum_a \pi(s, a) \sum_{s'} P_{ss'}^a [ R_{ss'}^a + \gamma E_\pi \{ \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+2} \mid s_{t+1} = s' \} ] \quad (E.3.8)$$

$$V^\pi(s) = \sum_a \pi(s, a) \sum_{s'} P_{ss'}^a [ R_{ss'}^a + \gamma V^\pi(s_{t+1}) ] \quad \text{Equação de BellMan (E.3.9)}$$

Dado que as ações  $a$  são tomadas de um conjunto  $A(s)$ , e os próximos estados, representados por  $s'$ , são tomados de um conjunto  $S$ , ou de  $S+$  no caso de um problema episódico.

### 3.3.2 Equação de BellMan

A equação de BellMan, demonstrada em (E.3.9), expressa a relação existente entre o valor de um estado e os valores de seus estados ( $s$ ) sucessores ( $s_{t+1}$ ). Vejamos a Figura 18 que facilita a compreensão da equação.



**Figura 18: Diagramas de Backup. a-transição de estado. b-par ação-estado.**

Se tomarmos por base a Figura 18 (a), veremos que no topo representamos o estado atual  $S$  por uma bola vazia e logo abaixo os círculos preenchidos relativos às ações possíveis que o agente pode tomar. Na sequência, vemos o próximo estado  $s'$  e o retorno  $r$  obtido para a determinada ação. A cada ação escolhida, o ambiente poderia responder com um dos vários estados subsequente, juntamente com uma recompensa  $r$ .

Esta equação é a base de várias maneiras de se computar, aproximar e aprender a função valor estado. Ela faz a média de todas as probabilidades, ponderando cada uma delas pela sua probabilidade de ocorrer. Define que o valor inicial deve se igualar ao valor (descontado) do próximo estado esperado, mais a recompensa esperada ao longo do caminho. O valor da função  $V^\pi$  é a solução única para a equação de Bellman.

### 3.3.3 Diagramas de backup

Os diagramas apresentados na Figura 18, além de nos transmitir a idéia de transição de estados, nos ajudam a perceber o processo de atualização ou “operação de backup”, base do *Aprendizado por reforço*. Estas operações transferem a informação do valor de volta para o estado sucessor, isto acontece para o par ação-estado.

Os nós de estados do diagrama da Figura 18 podem representar uma passagem de um estado para ele mesmo, pois as transferências podem ocorrer para todo  $s_t \in S$ , onde  $S$  é conjunto dos **estados** possíveis.

### 3.3.4 Função valor ótima

Atingir o máximo de recompensa em longo prazo segundo uma política é uma das tarefas das técnicas de *Aprendizado por Reforço*. Para os *Processos de Decisão de Markov*, podemos definir que uma política ótima é aquela que a sua expectativa de retorno é maior que ou igual à de outra política, **isto para todos os estados**. Podendo dizer que  $\pi \geq \pi'$  se e somente se  $V\pi(s) \geq V\pi'(s)$  para todo  $s \in S$ .

Denotamos todas as políticas ótimas por  $\pi^*$ . Elas compartilham a mesma função valor de estado, denotada por  $V^*$ , denominada **Função de Estado Ótima** podendo ser definida como a seguir:

- $V^*(s) = \max_{\pi} V^{\pi}(s)$ , para todo  $s \in S$ .
- Políticas ótimas compartilham uma mesma função valor-ação ótima.
- $Q^*(s, a) = \max_{\pi} Q^{\pi}(s, a)$ , para todo  $s \in S$  e  $a \in A(s)$ .

Para o par ação-estado  $(s, a)$ , esta função dá o retorno esperado para a ação  $a$ , tomada no estado  $s$  e seguindo uma política ótima. Podendo então ser escrita como a seguir:

$$Q^*(s, a) = E \{ r_{t+1} + \gamma V^*(s_{t+1}) \mid s_t = s, a_t = a \} \quad (E.3.10)$$

Na **equação de otimalidade de Bellman** ( $V^*$ ), a condição de consistência não tem referência para qualquer política específica pois é uma função valor ótima. Sendo  $V^*$  uma função valor para uma política, deve satisfazer a condição de auto-consistência dada pela equação de Bellman para os valores de estado (E.3.8)

A *equação de otimalidade de Bellman* nos mostra que o valor de um estado sob uma política ótima, deve ser igual ao retorno esperado para a melhor ação daquele estado. A seguir, mostramos duas equações relativas e esta *equação* para  $V^*$  (função valor estado ótima).

$$\begin{aligned} V^*(s) &= \max_{a \in A(s)} Q^{\pi^*}(s, a) \\ &= \max_a E_{\pi^*} \{ R_t \mid s_t = s, a_t = a \} \\ &= \max_a E_{\pi^*} \{ \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} \mid s_t = s, a_t = a \} \\ &= \max_a E_{\pi^*} \{ r_{t+1} + \gamma V^*(s_{t+1}) \mid s_t = s, a_t = a \} \end{aligned} \quad (E.3.11)$$

$$= \max_a \sum_{s'} P_{ss'}^a [R_{ss'}^a + \gamma V^*(s')] \quad (E.3.12)$$

A diferença desta equação para (E.3.9) é a eliminação de  $\pi(s,a)$ , pois consideramos que a maior ação vai ser adotada. A equação de otimalidade de Bellman para  $Q^*$  (**função valor ação-estado ótima**) é:

$$Q^*(s,a) = E \{ r_{t+1} + \gamma \max_{a'} Q^*(s_{t+1}, a') \mid s_t = s, a_t = a \} \quad (E.3.13)$$

$$= \sum_{s'} P_{ss'}^a [R_{ss'}^a + \gamma \max_{a'} Q^*(s', a')] \quad (E.3.14)$$

Para facilitar a compreensão, temos na Figura 19 os diagramas de backup, mostrando graficamente as expansões dos futuros estados e ações consideradas nas equações de otimalidade de Bellman para  $V^*$  e  $Q^*$ . A diferença entre a Figura 18 e a Figura 19 trata-se da adição de arcos nos pontos de escolha do agente que representam o máximo dentre as escolhas que serão tomadas ao invés do valor esperado para uma dada política.

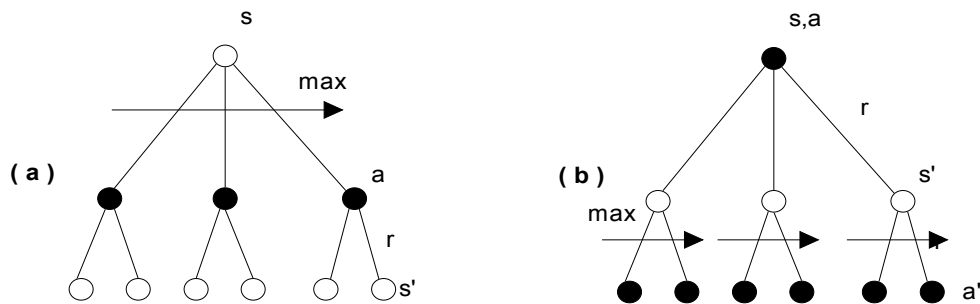


Figura 19: Diagramas para  $V^*$  e  $Q^*$  nas figuras a e b, respectivamente.

Se pudermos ter  $V^*$ , é relativamente fácil determinar uma política ótima. Para cada estado  $s$ , **haverá uma ou mais ações nas quais o máximo é obtido na equação de otimalidade de Bellman**. Qualquer política que **atribui probabilidade não zero somente para essas ações**, é uma política ótima. Pode-se pensar nisso como a procura de um passo. Se você tem uma função valor ótima  $V^*$ , então as ações que parecem melhores depois de um passo de procura serão as ações ótimas.

O termo **gulosa** se baseia em considerações locais ou imediatas ao selecionar entre alternativas. É usado na Ciência de Computação, e ao dizer que uma política é gulosa com

relação ao valor da função valor ótima  $V^*$ , então é uma política ótima. Não estamos considerando a possibilidade de que **a seleção pode evitar o acesso futuro a alternativas ainda melhores**. As ações selecionadas se baseiam apenas em consequências de curto prazo.

A vantagem de  $V^*$  é que se alguém a utiliza para avaliar as consequências de curto prazo das ações, então esta política gulosa é realmente ótima em longo prazo.  $V^*$  já leva em conta as consequências de recompensa de todo o comportamento futuro possível e através de  $V^*$ , o retorno ótimo esperado de longo prazo é transformado em uma quantidade que está imediatamente e localmente disponível para cada estado. Com isto, a procura de um passo à frente, leva a ações ótimas de longo prazo.

Ter  $Q^*$  torna a escolha de ações ótimas ainda mais fácil, pois o agente não necessita fazer uma pesquisa de um passo à frente. Para qualquer estado  $s$ , ele pode simplesmente encontrar qualquer ação que maximize  $Q^*(s, a)$ . A função valor-ação memoriza os resultados de todas as procuras nos passos a frente. Fornece ainda o retorno ótimo esperado de longo prazo como um valor que está imediatamente e localmente disponível para cada par ação estado.

Sem ter que conhecer a dinâmica do ambiente (características ou valores) dos estados sucessores pode-se, com a função valor-ação ótima, selecionar ações ótimas.

### 3.4 Métodos do Aprendizado por Reforço

Três classes de métodos podem ser identificadas para solucionar os problemas do *Aprendizado por Reforço*, são eles: *Programação dinâmica*, *Monte Carlo* e *diferença temporal*.

Todos os três métodos (*Programação Dinâmica*, *Monte Carlo* e *Diferença Temporal*) possuem vantagens, desvantagens e suas indicações de utilização. Em linhas

gerais, **Programação dinâmica** [BELLMAN 1957] tem bom desempenho matemático, mas necessita de uma precisa modelagem do ambiente, assim como *Processos de Decisão de Markov*. **Monte Carlo** não necessita de uma precisa modelagem do ambiente e não é viável quando a solução do problema é somente incremental (estado atual e estados imediatos), pois necessita do alcance do final da tarefa. **Diferença temporal** não necessita da modelagem exata do ambiente e permite que seja incremental, mas a análise é complexa.

### 3.4.1 Programação dinâmica (PD)

É uma coleção de algoritmos que dado um modelo perfeito, como um *Processo de Decisão de Markov*, podem ser usados para obter políticas ótimas. Os estados deverão conter todas as informações como ações, retornos e probabilidades de transição para outros estados. Isto irá demandar um alto custo computacional.

A Função Valor é a base para a PD estruturar e organizar a busca de boas políticas. Com isto, políticas ótimas são obtidas sempre que obtemos funções de valores ótimas, denotadas por  $V^*(s)$  e  $Q^*(s, a)$ .

A recursividade está presente onde o valor atual de um estado, depende dos seus estados sucessores  $V^*(s')$ . Vamos descrever na equação (E.3.15) e (E.3.16) a equação proposta por Bellman [BELLMAN 1957] que calcula a função valor.

$$\begin{aligned} V^*(s) &= \max_a E \{ r_{t+1} + \gamma V^*(s_{t+1}) \mid s_t = s, a_t = a \} \\ &= \max_a \sum_a \pi(s, a) \sum_{s'} P_{ss'}^a [ R_{ss'}^a + \gamma V^*(s') ] \end{aligned} \quad (E.3.15)$$

$$\begin{aligned} Q^*(s, a) &= E \{ r_{t+1} + \gamma \max_a Q^*(s_{t+1}, a') \mid s_t = s, a_t = a \} \\ &= \sum_a \pi(s, a) \sum_{s'} P_{ss'}^a [ R_{ss'}^a + \gamma \max_a Q^*(s', a') ] \end{aligned} \quad (E.3.16)$$

Onde  $\gamma$  é o fator de desconto, com valores entre zero e um,  $P_{ss'}^a$  é a probabilidade de

estarmos no estado  $s$ , selecionarmos a ação  $a$  e alcançarmos o estado  $s'$ .  $R_{ss}^a$  é a recompensa que recebemos quando estamos no estado  $s$ .

**Problema de Predição** é quando refinamos sucessivamente uma política arbitrária através do conceito de Avaliação de Política, isto para calcular a função valor ótima sem conhecer a política ótima.

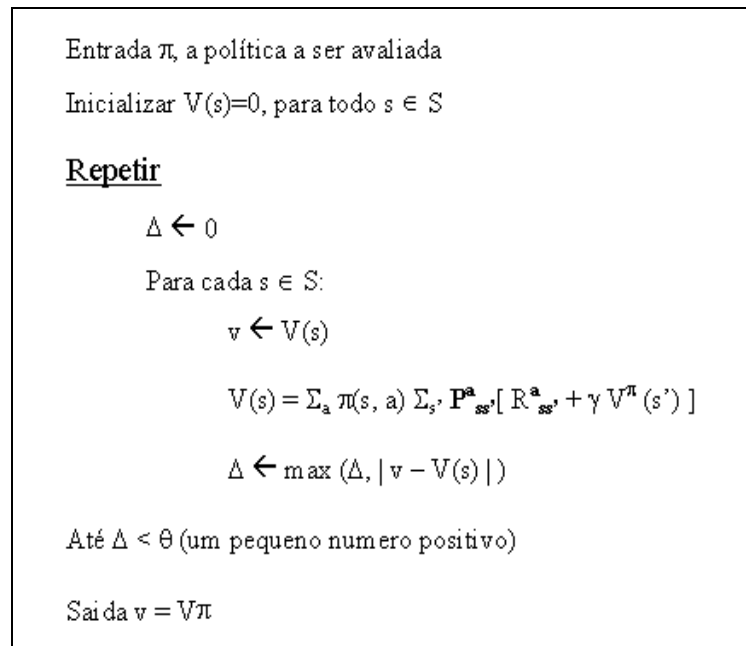
$$\begin{aligned}
 V^\pi(s) &= E_\pi \{ r_{t+1} + \gamma r_{t+2} + \gamma^2 r_{t+3} \dots \mid s_t = s \} \\
 &= E_\pi \{ r_{t+1} + \gamma V^\pi(s_{t+1}) \mid s_t = s \} \\
 &= \sum_a \pi(s,a) \sum_{s'} \mathbf{P}_{ss'}^a [ R_{ss'}^a + \gamma V^\pi(s') ].
 \end{aligned} \tag{E.3.17}$$

A probabilidade de se tomar a ação  $a$  no estado  $s$  sobre uma política  $\pi$  é representada por  $\pi(s, a)$ . As expectativas são indexadas por  $\pi$  para indicar que elas são condicionais ao seguimento da política  $\pi$ .

A **Avaliação de Política Interativa** ocorre quando utilizamos a política que estiver disponível, caso não exista, utilizamos a aleatória, refinamos várias vezes  $V^\pi$  através de sucessivas varreduras no espaço de estados até que  $V^\pi$  se aproxime de  $V^*$ .

O fato do método buscar a política ótima, faz com que o agente faça uma varredura em todos os estados no espaço de estados do modelo *Processo de Decisão de Markov*. Isto envolve um grande custo computacional quando a modelagem for complexa, podendo gerar um problema chamado de “Explosão Combinatorial” ou “Curse of Dimensionality” [BELLMAN 1957]. Para conjuntos de estado muito grandes, uma única varredura poderia custar muito e inviabilizar o processo [SRS&BAG 1998]. Este método então é indicado para modelagens simples.

O algoritmo de avaliação da política interativa está representado na Figura 20:



**Figura 20: Algoritmo de avaliação da política iterativa**

Levando em consideração que o  $\Delta$  converge apenas no limite, temos que adotar um critério de parada. Uma condição típica de parada é o cálculo da diferença:  $\max_{s \in S} |V_{k+1}(s) - V_k(s)|$ , após cada varredura, então podemos parar se esta diferença for muito pequena.

### 3.4.2 Monte Carlo (MC)

O **método de Monte Carlo** permite resolver problemas de *Aprendizado por Reforço* calculando a **média das amostras de retorno**. Para isto necessitamos que os retornos estejam bem definidos. As **tarefas** devem ser **episódicas**, ou seja, a experiência será dividida em episódios onde cada um dos episódios tem fim, não importando quais ações sejam selecionadas. Somente ao término de um episódio, sua estimativa de valor e suas políticas serão mudadas. Podemos dizer então que são incrementais, episódio por episódio, e não incrementais passo a passo.

Não é necessário um conhecimento completo do ambiente, mas sim a experiência. Apenas uma amostra de seqüências de estados, ações e recompensas será obtida a partir de uma interação on-line ou simulada com o ambiente.

O fato de não exigir um conhecimento da dinâmica do ambiente é muito bom, tanto

para a experiência real quanto para a simulada, podendo ainda levar a um comportamento ótimo.

Na PD, vista anteriormente, identificamos que a modelagem do ambiente deve ser perfeita, já no Método MC, é necessário que apenas algumas transições de estados sejam geradas.

#### 3.4.2.1 Avaliação da política de Monte Carlo

Como o método MC é baseado na média das amostras, quanto maior forem os retornos observados, mais a média deverá convergir para o valor real esperado. Esta é uma idéia própria dos métodos MC. Como consequência, estima-se o valor de um estado a partir de experiências, fazendo a média dos retornos observados após as visitas daquele estado; lembrando que o valor de um estado é o retorno esperado começando daquele estado.

#### 3.4.3 Diferença temporal (DT)

O método de diferença temporal, como o próprio nome diz, se baseia na **diferença** entre um **passo de tempo** e o passo **seguinte** para calcular o retorno e atualizá-lo. Podem ser chamados de “Single-Step”.

Como vimos anteriormente, o método de Monte Carlo aguarda o término do episódio para atualizar a estimativa de valor. A utilização da experiência para resolver os problemas de *Aprendizado por Reforço* é uma característica da DT. A atualização destes valores é feita a cada passo de tempo e tem como base, outras estimativas já aprendidas. A equação utilizada é a (E.3.18):

$$V(s_t) = V(s_t) + \alpha [ r_{t+1} + \gamma V(s_{t+1}) - V(s_t) ] \quad (\text{E.3.18})$$

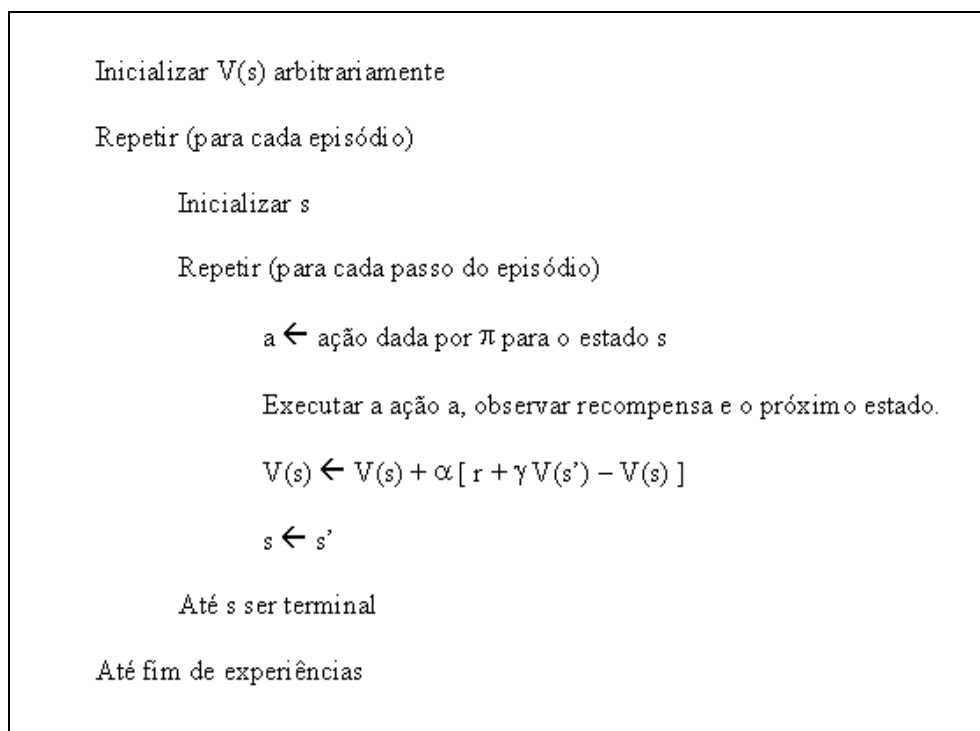
Este trecho é conhecido como erro de DT:

$$\text{Erro} = r_{t+1} + \gamma V(s_{t+1}) - V(s_t) \quad (\text{E.3.19})$$

$\alpha$  É uma constante de atualização que trata o quanto a rede vai aprender. O **Erro** é a diferença no tempo  $t$  e  $t+1$  (*diferença temporal*).

A estimativa DT se baseia, recursivamente em outra estimativa ocorrida no passo de tempo anterior, recebendo o nome de “**Bootstrap**”. [SRS&BAG 1998]

O algoritmo da DT está descrito na Figura 21



**Figura 21: Algoritmo da Diferença Temporal**

#### 3.4.4 Comparação de programação dinâmica (PD), Monte Carlo (MC) e diferença temporal (DT)

O método DT se destaca da PD por não necessitar de uma modelagem do ambiente, retornos e das probabilidades de transição dos estados segundo os *Processos de Decisão de Markov*.

O método DT se destaca do MC, podendo ser implementado totalmente de forma

incremental para aplicações On-line; MC precisa chegar ao fim do episódio para obter o retorno verdadeiro.

Os valores supostos das atualizações, tanto em MC quanto em DT, garantem a convergência até a resposta correta, apresentando um gráfico com forma assintótica.

Experimentalmente é demonstrado que os métodos DT são mais rápidos nas tarefas estocásticas [TSITSIKLIS 1994], apesar de não existir ainda uma demonstração matemática de qual método é mais rápido, MC ou DT.

### 3.4.5 Política On e Off (on-policy e off-policy)

Nas técnicas de *Aprendizado por Reforço*, encontramos o Controle de “Política On” ou *on-policy* e o Controle de “Política Off” ou *off-policy*.

No **Controle de Política On**, a política é atualizada enquanto ela está sendo seguida. **SARSA** e **Actor-Critic** são os métodos de *Diferença Temporal* que utilizam esta forma de controle. **SARSA** usa somente o “Erro de DT” para calcular valor de estados enquanto o **Actor-Critic** utiliza o “Erro de DT” para melhorar a política e calcular o valor dos estados.

No **Controle de Política OFF**, a política atualizada ou melhorada não é a mesma utilizada. A política atualizada ou melhorada é chamada de política de estimação ou *estimation policy* e a política utilizada ou seguida, é chamada de política de comportamento ou *behavior policy*.

Q-Learning é um tipo de algoritmo que dispensa a política, chamado *off-policy*.

## Capítulo 4: Mapas Auto-Organizáveis

*"Há outros que lutam um ano e são melhores. Há os que lutam muitos anos e são muito bons. Mas há os que lutam toda a vida, e estes são imprescindíveis".*

*Bertold Brecht*

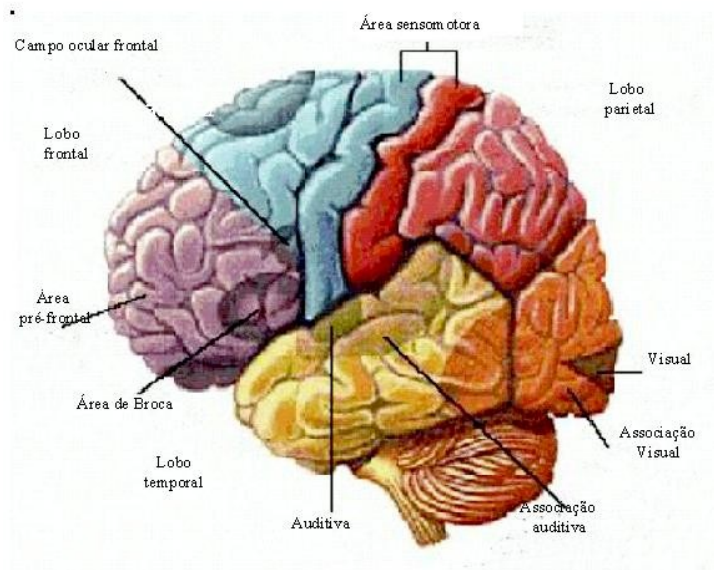
### 4.1 Introdução

Redes Self Organizing ou redes auto-organizáveis é uma classe das Redes Neurais Artificiais (RNAs) e recebe este nome pela capacidade de se auto-organizar. A única informação necessária está no conjunto de padrões de entrada. Ela se caracteriza no paradigma de aprendizado não-supervisionado.

A rede SOM (Self Organizing Map) possui, na sua estrutura básica, a camada de entrada e a camada de saída. Tal modelo caracteriza-se por sua grande utilização nos problemas de reconhecimento de padrões e categorização de dados onde as classes não são conhecidas anteriormente. Para ocorrer este reconhecimento de padrões ou categorização de dados, é necessário que os dados de entrada possuam características comuns permitindo seu agrupamento na saída.

Existem dois grandes grupos de algoritmos de treinamento desta rede, o aprendizado Hebbiano e o aprendizado competitivo (utilizado neste trabalho) [BRAGA 2000].

No aprendizado competitivo, como o próprio nome sugere, cada nodo compete entre si pelo direito de atualizar seus pesos. A rede que vamos utilizar recebe o nome de Mapas Auto-Organizáveis de Kohonen, SOM ou simplesmente Mapas de Kohonen. Seu idealizador foi Teuvo Kohonen na década de 80 e teve forte inspiração neurofisiológica baseando-se nos mapas topológicos presentes no córtex cerebral (Figura 22). Um exemplo disso é o córtex auditivo que mapeia as diferentes frequências sonoras.



**Figura 22: Córtex cerebral humano**

Os mapas da rede SOM podem ser unidimensionais, bidimensionais ou até multidimensionais (casos raros), onde o mais utilizado é o unidimensional. Quanto ao tipo de vizinhança podemos citar o Retangular, Hexagonal e **linear em anel** (Figura 23) dentre outros.

Os padrões de saída competem entre si para identificar qual deles tem a maior semelhança com o padrão de entrada, mas não existem conexões físicas entre eles. A classificação dos padrões coloca os semelhantes em uma mesma região da rede [KOHON 1989].

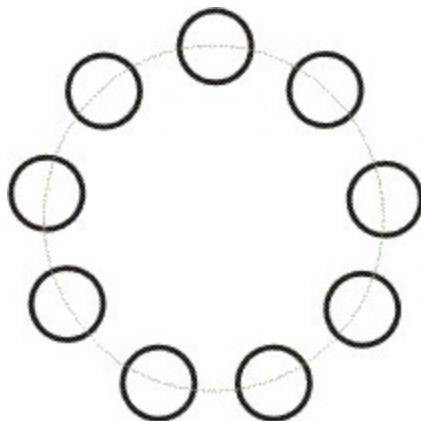


Figura 23: Vizinhança dos Mapas Auto-Organizáveis do tipo linear em anel.

## 4.2 Arquitetura

Na rede SOM os neurônios são localmente interconectados (Figura 24) e possuem uma relação de vizinhança dependendo da topologia do mapa. De acordo com a quantidade de entradas (I), pesos são associados a cada neurônio (J). Inicialmente, os pesos são escolhidos aleatoriamente e próximos de zero. [HAYKIN 2002]

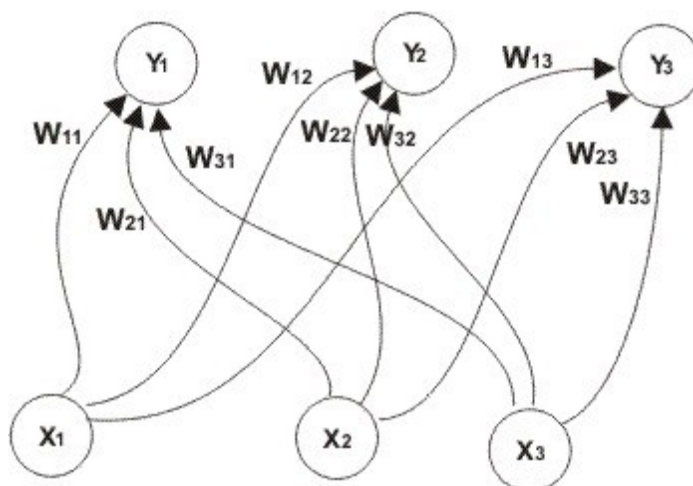


Figura 24: Arquitetura dos Mapas Auto-organizáveis. Nós lineares.

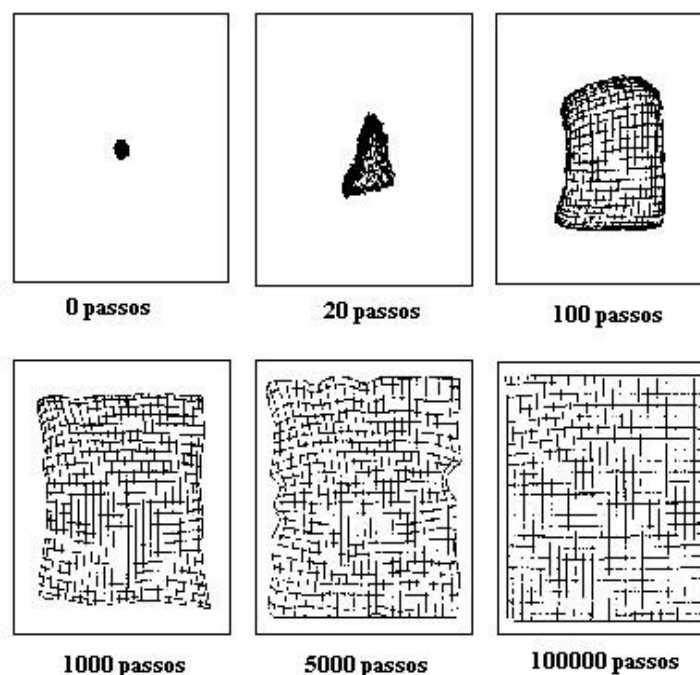
### 4.3 Treinamento

O treinamento da rede SOM é dividido em fase de ordenação global e ajustes finos. A ordenação global ocorre durante os 1000 (mil) primeiros ciclos [KOHONEN 1997]. O raio de vizinhança, nesta fase, pode possuir um tamanho maior que a metade da rede com diminuição linear para a unidade. A taxa de aprendizado deve ser alta (próximo a um) e, em função do tempo, reduzida monotonicamente para um valor pequeno (próximo de 0,1).

O ajuste fino ou convergência, ocorre logo após a ordenação global e define a qualidade da precisão do mapa em representar os modelos. Esta fase é considerada como etapa de estabilização ou suavização e é a mais demorada, devendo durar no mínimo 500 (quinhentas) vezes o número de neurônios da rede. A taxa de aprendizado deve ser pequena, próxima de 0,01 onde a situação ideal é o decréscimo em função do tempo. Esta taxa não deve chegar a zero. A vizinhança deve ser reduzida a um neurônio, ou próximo disso, não aceitando nenhuma vizinhança. [HAYKIN 2002]

A Figura 25 mostra as relações topológicas entre os neurônios da camada de saída através do acompanhamento das conexões de cada neurônio e seus vizinhos mais próximos (de linha e coluna). À medida que os padrões de entrada (uniformemente distribuídos em todo o espaço retangular mostrado) são apresentados para a rede, os pesos são alterados, iniciando a cobertura de todo o espaço ocupado pelos padrões de entrada. Assim, nos primeiros passos, todos os neurônios estão representando uma pequena fração do espaço. Ao final, tais neurônios estão distribuídos topologicamente de modo a cobrir uniformemente o espaço de entrada.

Veja na Figura 25 que nos primeiros 1000 (mil) ciclos, a estrutura topológica já está formada.



**Figura 25: Fases do treinamento de um mapa de Kohonen**

#### 4.3.1 Cálculo do neurônio vencedor

O cálculo da distância euclidiana define, diante do padrão de entrada atual, qual é o neurônio vencedor (pesos mais próximos que definem maior semelhança). A equação da distância euclidiana utilizada é a seguinte:

$$Distância = \sum_{i=1}^n \|x_i - w_{ji}\|$$

Onde  $x_i$  é o  $i$ -ésimo padrão apresentado para a rede e  $w_{ji}$  é o peso do neurônio referente a entrada.

Outra medida de similaridade é o cálculo da distância Hamming, indicando quantas posições (elementos) diferem na comparação de dois vetores (padrão de entrada e pesos das sinapses do neurônio). Quando os vetores forem binários (casos mais simples) os elementos podem conter valores como zeros e uns. [KOHONEN 1997]

Existem vários outros métodos para calcular o neurônio vencedor, e de acordo com as características de implementação da rede, os resultados poderão ser satisfatórios ou não.

### 4.3.2 Atualização dos pesos

A atualização de pesos é aplicada após a identificação do neurônio vencedor.

O aprendizado ocorre conforme a seguinte equação:

$$w_{ji}(t+1) = \begin{cases} w_{ji}(t) + \eta(t)(x_i(t) - w_{ji}(t)), & \text{se } j \in \Delta(t) \\ w_{ji}(t), & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Onde:

$w_{ji}(t+1)$  é a identificação o novo peso

$w_{ji}(t)$  é a identificação do peso atual

$\eta$  é a taxa de aprendizado

$X_i$  o i-ésimo padrão apresentado a rede

Uma função chamada “Chapéu Mexicano” (Figura 26), modelada nas Redes Neurais Artificiais (RNAs), promove a ordenação topológica mais eficiente. Segundo esta função, cada neurônio influencia o estado de ativação dos seus vizinhos de três formas possíveis:

*Excitatória*: Vizinhos próximos ao vencedor (R1)

*Inibitória*: Vizinhos fora da área anterior e dentro de uma segunda área (R2)

*Levemente excitatória*: Vizinhos fora das duas áreas anteriores e dentro de uma terceira área mais distante (R3).

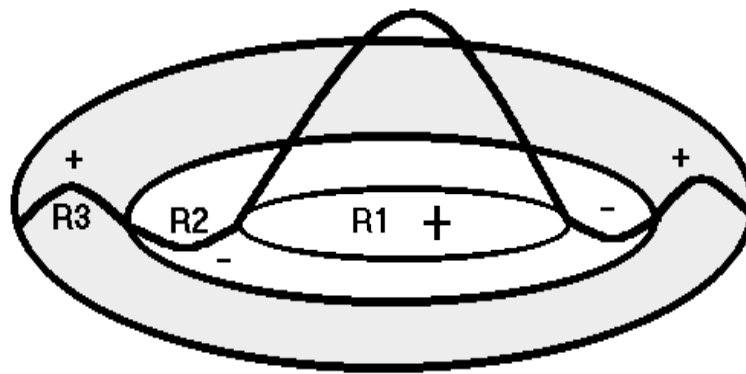


Figura 26: Função chapéu mexicano

#### 4.3.3 Algoritmo de treinamento

O algoritmo de treinamento mostrado na Figura 27 não é considerado de grande dificuldade, mas a inicialização dos pesos, a escolha do neurônio vencedor, a atualização dos pesos e principalmente a taxa de redução da vizinhança e de aprendizado [KOHONEN 1997] determinam ou não o mapeamento topológico de determinados padrões. Este é o ponto chave da implementação e muitas vezes somos levados a experimentar variações e combinações entre cada um destes tópicos citados anteriormente.

1. Inicializar pesos e taxa de aprendizagem
2. Repetir
  - 2.1. Para cada exemplo
    - 2.1.1. Apresentar o exemplo a todos os neurônios da rede e definir o neurônio vencedor (utilizando a distância euclidiana, por exemplo);
    - 2.1.2 Atualizar pesos do neurônio vencedor e de seus vizinhos (no raio de vizinhança estabelecido);
    - 2.1.3. Se satisfeita a regra de redução da taxa de aprendizado e vizinhança então reduzir a taxa de aprendizado e o raio de vizinhança;
3. Até satisfeito o número de ciclos determinado ou característica do mapa não mudar.

Figura 27: Algoritmo SOM

## 4.4 Medidas de qualidade

As medidas de qualidade que demonstram o aprendizado da rede SOM são: Preservação topológica e precisão do mapa.

### 4.4.1 Preservação topológica

Para sabermos se a rede aprendeu, precisamos garantir a qualidade da preservação topológica do conjunto de treinamentos. Esta é uma característica básica dos Mapas de Kohonen.

Obtendo a média da soma das distâncias entre o primeiro neurônio vencedor e o segundo neurônio vencedor, saberemos que, quanto maior for o resultado, menor ordenação global a rede alcançou. Então para medir esta preservação, apresentamos a equação:

$$QualidadeTopológica = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \alpha$$

Onde:

$$\alpha = \begin{cases} \max(|L_v - L_{v'}|, |C_v - C_{v'}|), & \text{se } \max(|L_v - L_{v'}|, |C_v - C_{v'}|) > 1 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$L_v$  é a linha do neurônio vencedor

$L_{v'}$  é a linha do segundo neurônio vencedor

$C_v$  é a coluna do neurônio vencedor

$C_{v'}$  é a coluna do segundo neurônio vencedor

$N$  é o número de exemplos mostrados à rede

#### 4.4.2 Precisão do Mapa

A qualidade de precisão do mapa se preocupa em saber com qual precisão os neurônios respondem ao conjunto de exemplos treinados, não se preocupando com a ordenação global (tópico anterior).

Se obtivermos a média aritmética das somas das distâncias euclidianas de cada exemplo após o treinamento [KOHONEN 1997], poderemos verificar a precisão do mapa. Similar à ordenação topológica, quanto menor o resultado, maior a precisão. A equação é a seguinte:

$$\text{Precisão} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \| X_i - W_{ji} \|$$

Onde:

$X_i$  é o  $i$ -ésimo padrão apresentado à rede e o  $W_{ji}$  é o peso do neurônio vencedor (referente à entrada).

O próximo capítulo trará algumas dicas da utilização das técnicas referentes aos capítulos anteriores no contexto da utilização e implementação do sistema proposto.

## PARTE II

---

### Sistema Proposto e Experimentação

## Capítulo 5: Sistema Proposto

*Ensinar não é uma função vital, porque não tem o fim em si mesma; a função vital é aprender.*

*Aristóteles*

### 5.1 Introdução

Para contextualizar este capítulo, como citado anteriormente, esta pesquisa objetiva a construção de um sistema baseado em redes neurais (*mapas de Kohonen* e *Aprendizado por Reforço*), que controle inteligentemente a execução de estilos musicais. Busca-se construir um modelo mais eficiente, quando comparado a duas outras situações: controle aleatório (onde o estilo musical que sucede outro é escolhido de forma totalmente aleatória) e sem estimulação musical (isto é, em silêncio).

O sistema proposto é constituído de dois módulos principais:

1. Organização topológica de estilos musicais
2. Uso de *Aprendizado por Reforço* para controle inteligente

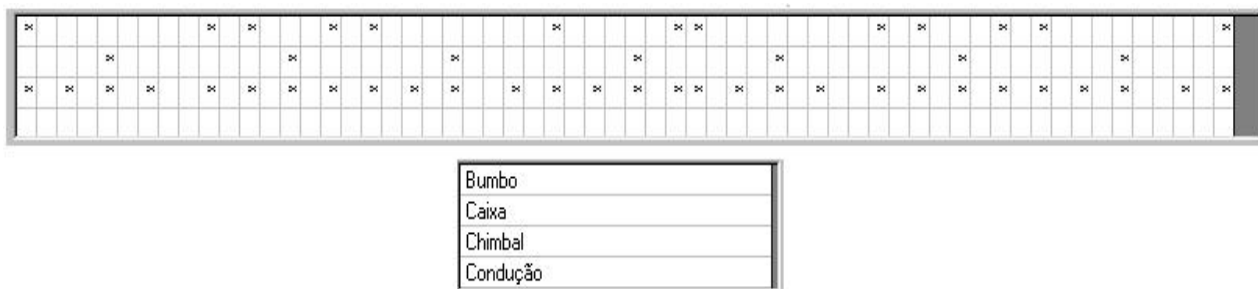
### 5.2 Organização topológica de estilos musicais

Para a execução inteligente de estilos musicais, precisamos escolher alguns representantes (jazz, rock etc.) e, para suavizar as eventuais transições, definir qual a

semelhança entre eles no sentido de escolher estilos consecutivos mais similares. A definição de semelhança pode ser encontrada através de critérios subjetivos como harmonia ou melodia e, bem possivelmente, não se chegaria a um consenso sobre as semelhanças entre estilos. Acredita-se que as marcações rítmicas das peças de uma bateria ou de algum instrumento de percussão podem mostrar com mais clareza o quão próximos estes estilos musicais estão uns dos outros.

Em comparação à totalidade dos instrumentos musicais, instrumentos rítmicos (como a bateria e outros instrumentos de percussão em geral) demonstram sua sonoridade através da presença ou ausência de som, tornando mais simplificada sua representação. Em alguns estilos musicais, a batida da bateria pode ser igual do começo ao final da música, servindo como base para tais estilos. A combinação das peças da bateria, cada uma sendo tocada ao seu tempo, juntamente com a velocidade na qual estas repetições individuais acontecem, determinam um estilo musical. Para a rede conseguir determinar a proximidade dos estilos musicais, não é conveniente capturar todas as batidas dos instrumentos do início ao final da música. Deve-se definir um limite de tempo que represente o estilo possibilitando a diferenciação e conseqüente ordenação topológica do estilo.

Conforme apresentado no Capítulo 2, concebemos, por exemplo, o estilo Rock Básico com a representação apresentada na Figura 13. Perceba na Figura 28 que o número de intervalos representados entre uma marcação (quadrado marcado pelo “\*”) e outra, dependem das velocidades pretendidas. Caso o estilo musical fosse tocado em uma velocidade maior, as marcações para os instrumentos tornar-se-iam mais próximas. Por outro lado, a cada instrumento adicional (ou até um mesmo instrumento tocado de outra maneira, como é o caso do chimbal e chimbal aberto), mais uma linha deverá ser acrescentada.



**Figura 28: Exemplo do mapa de representação de cada estilo musical**

Poderíamos usar esta mesma representação para outros instrumentos, mas entendemos não ser conveniente por não representar de forma ampla seus recursos. Um violino, por exemplo, envolveria diversos efeitos na execução de uma mesma nota (sem falar a diversidade de notas possíveis neste instrumento).

A representação dos instrumentos da Figura 28, aliados à rede SOM, pode se dar de várias formas. Estes mapas de instrumentos e suas marcações podem ser representados por mapas unidimensionais, bidimensionais ou até multidimensionais, tal representação irá depender do problema proposto. Tentar esboçar no papel como este modelo irá ficar ajuda a entender melhor o problema e facilita a escolha do modelo topológico.

Definida a **organização topológica** dos estilos musicais, teremos recursos para controlar inteligentemente a seqüência de execução dos estilos, na tentativa de modificar, dentre outras medidas, o tempo de execução de alguma tarefa do usuário.

Os **pesos** podem ser **iniciados** com valores aleatórios e de preferência pequenos (próximos a zero). Cada experimento deve ser executado alterando estes valores e verificando o tempo gasto até a estabilização da rede.

O **treinamento** da rede divide-se em ordenação global, durando em média mil ciclos ou mais, e ajuste fino, considerado como a etapa de suavização, estabilização ou convergência. Esta última fase tem um tempo de duração consideravelmente maior do que a primeira fase. O número de ciclos em cada fase pode variar para mais ou para menos levando em consideração cada implementação com suas especificidades.

A **variação da taxa de aprendizado** define a transição entre as fases. A cada iteração a taxa de aprendizado deve ser decrescida a um fator diferente para cada fase. A taxa de aprendizado *começa alta*, próxima de um. O *decrécimo* é alto na *primeira fase*, quando a taxa de aprendizado deverá assumir, ao final dela, um valor próximo de 0,1. Na *segunda fase*, a taxa deverá sofrer um decréscimo mais suavizado e atingir, ao seu final, um valor próximo de 0,01 ou zero. A segunda fase realizada com mais ciclos que a primeira, tornando-a, portanto, mais demorada. O número de iterações total deve ser suficiente para o aprendizado e estabilização da rede. Apesar destas dicas, é necessário tentar outros valores em cada fase tanto para taxa de aprendizado, como para o número de iterações.

No início das iterações o raio da **vizinhança** pode abranger todos os neurônios vizinhos ou um tamanho maior que a metade do raio da rede, com **diminuição linear e unitária**.

A distância euclidiana é um dos **cálculos** mais utilizados na definição **do neurônio vencedor**, apesar de existirem outras formas consideradas eficientes. Neste trabalho, iniciamos o experimento utilizando a distância euclidiana, não conseguindo diferenciar de forma satisfatória a representação topológica proposta. De acordo com a representação escolhida para os estilos musicais (Figura 28), partimos para outras soluções. Percebemos a disposição dos instrumentos com suas respectivas presenças ou ausências de batidas. A partir de então decidimos verificar o quão diferente uma batida de um estilo musical está dos neurônios do mapa topológico. Os critérios avaliados foram instrumento a instrumento levando em consideração a mesma coluna e as posições das linhas (representando cada batida de cada instrumento). Calculamos a soma das diferenças da primeira coluna até a última. A menor soma representa o neurônio mais próximo ao estilo musical em questão sendo considerado o vencedor.

A **atualização dos pesos** sinápticos depende da organização topológica e da escolha do neurônio vencedor. Escolhido o neurônio vencedor, os pesos dos vizinhos, de acordo com o raio atual, serão atualizados pela taxa de aprendizado.

### 5.3 Uso do Aprendizado por Reforço

O sistema proposto, para sintetizar dinamicamente o melhor acompanhamento sonoro do usuário, utiliza uma das técnicas de *Aprendizado por Reforço*, definida a partir da teoria apresentada no Capítulo 3.

Para cada conjunto de características, quando temos os estados, ações e recompensas, podemos utilizar uma técnica específica de *Aprendizado por Reforço*. Métodos como a *programação dinâmica*, *Monte Carlo* e *diferença temporal*, por definição, desempenham o papel do aprendizado.

Para operacionalizar os *métodos de Aprendizado por Reforço*, vários aspectos são tratados.

Em um sistema como o jogo da velha [ARAÚJO 2000], as **recompensas e punições** são tratadas a cada passo de tempo. O valor  $-1$  (um negativo) é atribuído ao agente a cada passo de tempo, para um jogo empatado o valor zero, para uma derrota o valor  $-2$  (dois negativo) e para vitória o valor  $+2$  (dois positivo). Estes números, assim como os critérios, podem mudar de acordo com o sistema proposto e suas características. Encontrar os critérios de punições e recompensas nos projetos, não é uma tarefa difícil, devendo ser pensada de forma natural. Devemos entender o contexto do problema e estabelecer as regras devidas para encontrar uma boa solução e as que prejudicam o sistema. Por exemplo, o estado da Figura 29 b seria representado por 021010200.

Para o Sistema Proposto precisamos definir as **recompensas** (reforço e punições) para cada passo de tempo  $t$ . Atribuiremos valores para ambas as situações de acordo com a

importância necessária tanto para o erro quanto para o acerto. Para chegarmos aos valores ideais, faremos alguns testes alterando estes valores até chegar à combinação satisfatória.

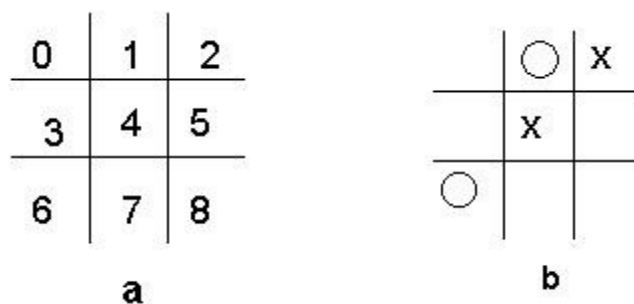


Figura 29: Esquema adotado para representar os estados.

O início de cada experimento possui um estado inicial podendo ser representado por  $S(0)$ . Para o exemplo do jogo da velha, acima mencionado, os valores 0, 1 e 2 podem representar os estados Vazio, X ou O respectivamente, com isto o **estado inicial** pode ser representado por 000000000 para as posições 012345678. Para este exemplo, vamos trabalhar com a estimativa da função valor  $V^{\pi}$ .

Para cada novo passo de tempo, um novo estado (próxima jogada) pode ser escolhido, tendo para cada novo estado uma probabilidade de acontecer. Para uma jogada aleatória, a partir de uma determinada posição, as possibilidades de escolha (mesma chance para todas as transições) de um novo estado seriam tratadas conforme a Figura 30.

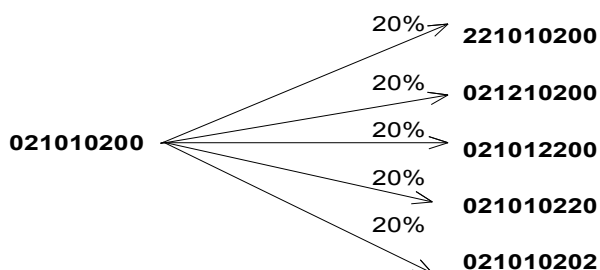


Figura 30: Política Aleatória.

O valor percentual para as escolhas possíveis, vai depender do número de alternativas para os novos estados. Inicialmente todas as opções devem ter a mesma chance de serem escolhidas para não privilegiar uma ou outra posição. A *função valor* irá estabelecer qual ação tomar a partir destas medidas.

A taxa de desconto e a constante de atualização devem ser atribuídas de acordo com a finalidade desejada do experimento.

A **taxa de desconto  $\gamma$**  poderá receber valores entre zero e um. Quanto menor for este valor, **menor** importância será atribuída aos valores anteriores, priorizando o momento atual. Para valores maiores, próximos a um, **maior importância** será atribuída aos valores anteriores.

A **constante de atualização  $\alpha$**  determina quanto a rede vai aprender. Quanto *maior a constante*, maior importância ao erro ocorrido e conseqüente **maior** aprendizado. Quanto menor a constante, menor importância ao erro ocorrido e conseqüente **menor aprendizado**.

O tempo estipulado para cada estilo musical ser reproduzido deverá ser suficiente para a identificação de tal estilo pelo participante, de modo a possibilitar a apresentação de outros estilos até o final do episódio. Deve-se ter um número satisfatório de transições entre estilos onde o sistema possa chegar a medidas estáveis de função valor.

Conforme as ações vão sendo escolhidas e os erros vão sendo calculados, a função valor deve ser recalculada e os percentuais reformulados para a nova situação. De acordo com as características de cada projeto, as equações definidas para o recálculo irão ditar a atualização do que podemos chamar de pesos.

De acordo com a teoria estudada, para um conjunto pequeno de estados, podendo ser caracterizado como *estados Markovianos*, devemos utilizar o método de *programação dinâmica*. Nos nossos estudos, possuímos vários estados, impedindo a utilização desta técnica. Para tarefas episódicas, temos o *método de Monte Carlo*, onde somente ao final do episódio a estimativa de valor é calculada e a política pode ser mudada. A *diferença temporal* atualiza a estimativa de valor e/ou muda sua política a cada passo de tempo. O **Método de diferença temporal** foi escolhido para este trabalho devido às características do ambiente sob estudo. O ambiente não possui uma modelagem perfeita como um

*Processo de Decisão de Markov*. Ele apresenta característica **episódica** e necessita que as atualizações das estimativas de valor ocorram **passo a passo**, daí a justificativa da utilização do *método de diferença temporal*. Para atualização da estimativa de valor, o sistema proposto emprega, portanto, a equação **E.3.18**. No sentido de facilitar a leitura, tal equação (“função valor”) está repetida abaixo:

$$V(s_t) = V(s_t) + \alpha [r_{t+1} + \gamma V(s_{t+1}) - V(s_t)] \quad (\text{E.3.18})$$

No próximo capítulo serão apresentados os resultados obtidos com os experimentos até aqui propostos.

## PARTE III

---

### Análise dos Resultados

## Capítulo 6: Experimentos e Resultados

*“Não se pode ensinar nada a ninguém, apenas indicar caminhos”.*

*Galileu Galilei*

### 6.1 Introdução

Neste capítulo, mostramos o uso de mapas auto-organizáveis na construção de uma ordenação topológica musical no sentido de realizar transições suaves entre estilos musicais. Tal estrutura sustenta o *Aprendizado por Reforço*, ajustando dinamicamente a execução musical ao desempenho do usuário.

A rede neural artificial escolhida é especificada e caracterizada. Em seguida, descrevemos o funcionamento dinâmico do sistema, incluindo etapas importantes de implementação.

O capítulo é finalizado com a seção de experimentação propriamente dita. Os experimentos são descritos e, com o uso de Estatística Descritiva e Inferencial, os dados coletados são analisados.

### 6.2 Ordenação musical topológica

Após considerar aspectos musicais e relativos à própria implementação, decidimos trabalhar com nove estilos musicais popularmente conhecidos, utilizando apenas a batida básica (som) produzida por uma bateria acústica. Mapeamos os momentos de presença e

ausência de cada peça da bateria para cada estilo musical. Utilizamos uma rede neural denominada Mapas Auto-Organizáveis de Kohonen em forma de anel para concretizar as proximidades entre os estilos musicais. Esta estrutura tem como objetivo servir de base para o sistema proposto na tarefa específica que será detalhada a seguir.

### 6.2.1 Descrição

Os nove estilos musicais populares selecionados foram: Rock Básico, Blues, Country, Bossa Nova, Disco, Dance, Pop, Twist e Reggae.

O som de cada estilo musical foi trabalhado apenas com as batidas da bateria com quatro peças (bumbo, caixa, chimbal e prato de condução). Foram definidas as representações gráficas dos mapas de presença e ausência de cada peça da bateria para cada estilo musical, inicialmente dentro de dois compassos. Cada trecho musical pode ser executado infinitamente para cada um dos estilos musicais sem pausas ou interrupções.

Desenvolvemos um programa computacional (Figura 31) que permitiu montar um trecho musical para cada estilo musical. Tal programa gerou, a partir da representação dos dois compassos, uma representação contínua para um período de quinze segundos de acordo com os batimentos por minuto (BPM) escolhido para cada estilo musical. O resultado desta representação gerou os padrões de entrada a serem utilizados pela RNA. Definimos o período de quinze segundos por se tratar do menor espaço de tempo necessário para representar o estilo musical mais lento, que poderia ser de 64 batimentos por minutos (BPM).

O mapa de representação das batidas considera, para cada instante de tempo específico, o valor  $-1$  (um negativo), representando a ausência de cada peça da bateria, e o valor  $+1$  (um positivo), representando a presença de cada peça da bateria. Na Figura 31, a presença de uma peça da bateria é designada pelo símbolo “#”.

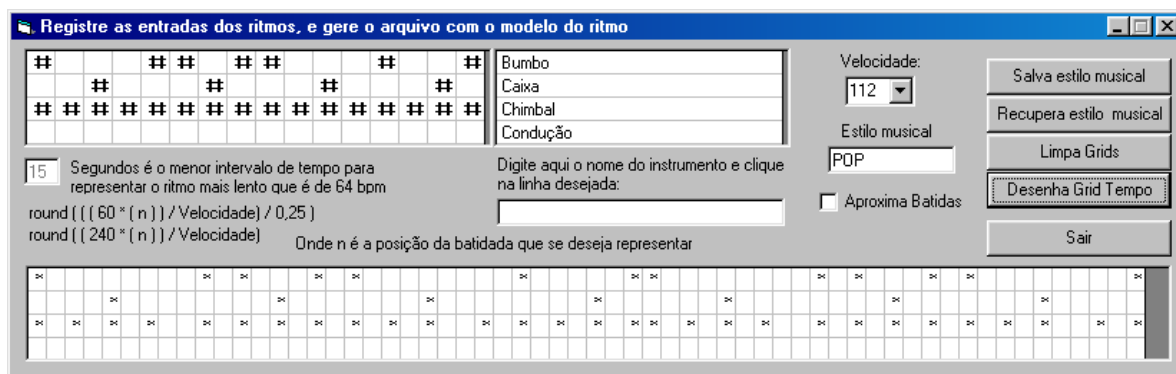


Figura 31: Programa usado para gerar a base para a Rede SOM

Os Mapas Auto-Organizáveis de Kohonen foram utilizados para encontrar as proximidades rítmicas entre os estilos musicais a partir de suas características inerentes ao organizar padrões, sendo tal organização topológica de estilos utilizada nos experimentos.

### 6.2.2 Implementação da rede SOM

Os nove estilos musicais foram definidos como padrões de entrada. Cada estilo contém, cada um, quatro instrumentos (bumbo, caixa, chimal e prato de condução), gera uma sequência de 60 (sessenta) possibilidades (para cada instrumento), origina 240 (duzentos e quarenta) pesos (Figura 31), relacionando o padrão de entrada ao padrão de saída. A ordenação topológica a ser encontrada é a ordenação por proximidade dos nove estilos musicais em forma de anel.

Inicialmente, foram atribuídos valores  $-0,2$  (dois décimos negativos) e  $+0,2$  (dois décimos positivos) aleatoriamente para os **pesos** em um total de 240 (duzentos e quarenta). A **taxa de aprendizado** começa com valor unitário e a **vizinhança** abrange oito unidades vizinhas (quatro para cada lado), cobrindo todo o anel da rede.

Utilizamos um cálculo diferente da *distância euclidiana* para definir qual o neurônio vencedor, denominado **distância Hamming**. A utilização de um cálculo diferenciado foi aplicada porque a *distância euclidiana* não conseguiu uma boa representação topológica, medida através de medidas de precisão do mapa e preservação topológica. O cálculo da distância Hamming, comparando dois vetores, verifica (Figura

32) o quanto cada coluna de tempo do padrão de entrada selecionado é diferente dos pesos sinápticos dos neurônios do mapa topológico, ou seja, a cada coluna comparada, verificamos cada uma das quatro linhas componentes entre o padrão de entrada e o neurônio do mapa topológico, a cada diferença somamos *um* a uma variável chamada “contador de passos”. Ao final da comparação de 60 (sessenta) colunas, era obtido o total geral de diferenças entre eles. O mesmo procedimento era realizado para cada padrão de entrada, sendo comparado com cada um dos neurônios do mapa topológico, possibilitando descobrir qual neurônio está mais próximo do padrão de entrada.



**Figura 32: Comparação entre padrão de entrada e neurônio do mapa topológico**

A cada iteração da rede durante o **treinamento**, de um total de 12.000 (doze mil), o padrão de entrada é comparado aos neurônios do mapa topológico. A taxa de aprendizado e a vizinhança são reduzidas gradativamente nessas iterações.

A taxa de aprendizado é decrescida de 0,0002 a cada iteração (Figura 33) quando é maior que 0,5. Em caso contrário, a taxa de aprendizado é multiplicada por 0,9998.

A vizinhança possui dois parâmetros de decréscimo. Caso fosse maior que um, a vizinhança é decrescida em um a cada 800 (oitocentos) iterações. Ao chegar ao valor unitário, a redução para zero ocorre apenas quando o número de iterações atinge 11.000 (onze mil).

**Figura 33: Programa que define o mapeamento topológico (estilos musicais).**

A atualização dos pesos segue a equação identificada no item 4.5, especificada abaixo. Cada neurônio do anel recebe sua atualização, considerando o limite da vizinhança.

$$w_{ji}(t+1) = \begin{cases} w_{ji}(t) + \eta(t)(x_i(t) - w_{ji}(t)), & \text{se } j \in \Delta(t) \\ w_{ji}(t), & \text{caso contrário} \end{cases}$$

### 6.2.3 Resultados obtidos da rede SOM

Após vários treinamentos da rede SOM, selecionamos através da menor taxa da preservação topológica e menor taxa da precisão do mapa, a seguinte sequência de estilos musicais (Figura 34):

Twist, Pop, Dance, Disco, Blues, Country, Reggae, Bossa Nova e Rock Básico.

**RegistroGeral**

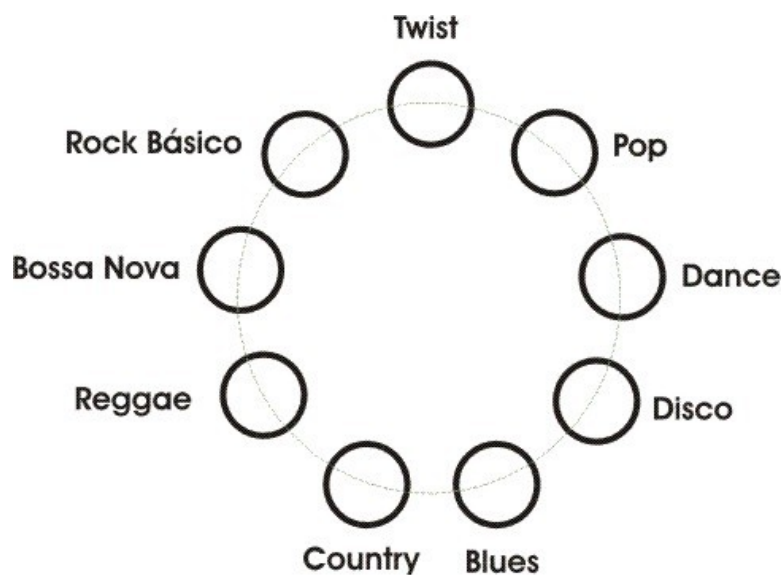
|                          |                |                        |                      |         |
|--------------------------|----------------|------------------------|----------------------|---------|
| CodigoRegistroGeral      |                | Precisão Mapa          | 5,46852163245277E-15 | Pesos   |
| tx Decréscimo Maior Meio | 0,0002         | Preservação Topológica | 0,222222222222222    | Padrões |
| tx Decréscimo Menor Meio | 0,9998         | Qtde Neurônios         | 9                    | Ritmos  |
| Decréscimo Vizinhança    | 800            | Qtde Padrões           | 9                    |         |
| Arquivo Leitura          | BasePadrao.txt | Qtde Pesos             | 240                  |         |
| Arquivo Saída            | final          | Última Interação       | 12000                |         |

| Ordem | Descrição         |
|-------|-------------------|
| 1     | 9 Twist 160       |
| 2     | 6 POP 112         |
| 3     | 4 Dance 128       |
| 4     | 5 Disco 128       |
| 5     | 1 Blues 112       |
| 6     | 3 Country 080     |
| 7     | 7 Reggae 080      |
| 8     | 2 Bossa Nova 128  |
| 9     | 8 Rock Básico 128 |

Registro: 36 de 36

**Figura 34: Resultado final da sequência de estilos musicais**

O Rock Básico fecha o anel ao lado do Twist, conforme estrutura topológica definida neste trabalho e demonstrada na Figura 35.



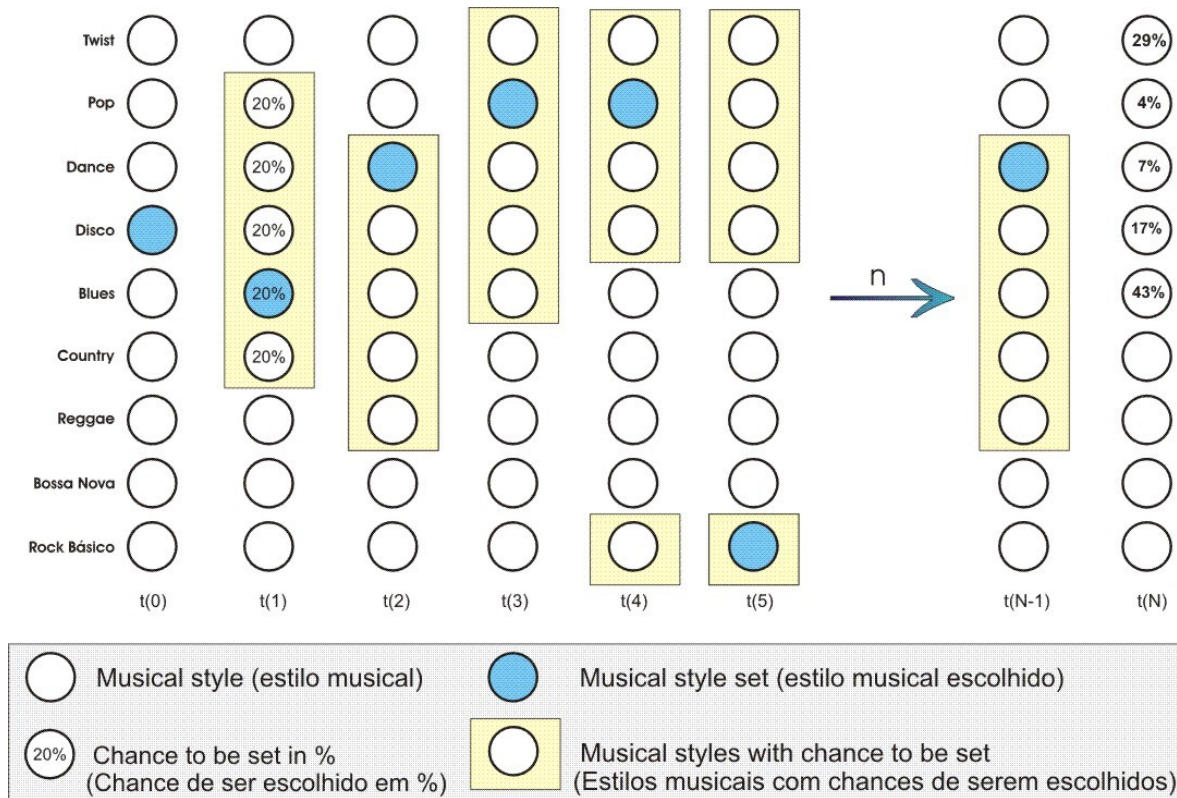
**Figura 35: Mapa topológico de estilos musicais**

### 6.3 Funcionamento do sistema

Nesta seção, detalhamos o funcionamento do sistema proposto utilizando a fundamentação descrita no Capítulo 3 para justificar a escolha do **Método de Diferença Temporal**. Para atualizar a estimativa de valor, ou *função valor*, conforme a **equação E.3.18**, definimos para as variáveis  $\alpha$  e  $\gamma$  os valores 0,2 e 0,2, respectivamente. Consideramos de menor importância o erro ocorrido e priorizamos o momento atual com esses valores de  $\alpha$  e  $\gamma$ .

Os estilos musicais foram organizados topologicamente em forma de anel (Figura 23) e definimos que suas transições, quando controladas inteligentemente (Figura 36) pelo sistema, devem acontecer entre cinco opções distintas: De um estilo musical para ele mesmo (circunferência superior central), para o vizinho da direita ou esquerda ou ainda para o segundo vizinho da esquerda ou o segundo vizinho da direita. Para a escolha do próximo estilo musical, é realizada uma somatória da função valor dos cinco neurônios totalizando 100%. O sistema escolhe o próximo estilo baseado em tal distribuição probabilística.

Como os critérios de punição e recompensa estão relacionados ao ambiente onde o agente trabalha, é importante saber que, em linhas gerais, usamos a tarefa de encadeamento de figuras, onde o participante é instruído a aprender seqüências de figuras pré-estabelecidas. Tal tarefa será descrita em detalhes na seção 6.4.



**Figura 36: Transição controlada inteligentemente**

Os **critérios de punição e recompensa** para o agente do sistema proposto são definidos da seguinte forma:

- 1) Quando o participante incorre em erro ao escolher novamente uma mesma figura errada para a posição, ocorre a punição denominada *Reincidência de erro absoluto*.
- 2) Quando o participante erra uma figura que já havia acertado em uma determinada posição, registramos a punição denominada *Erro real*.
- 3) Caso não aconteça nenhuma das situações de erro citadas anteriormente, o valor de *recompensa* para o agente é 0,2.

Deve-se observar ainda que a cada situação de *punição*, o valor atribuído ao agente (variável de retorno no tempo  $T+1$ ) é  $-0,3$ .

As transições entre estilos controlados inteligentemente possuem como possíveis alternativas somente os estilos representados pelo retângulo mais escuro na Figura 36.

Os pesos são **iniciados** com valores 0,2 (Figura 37), representando 20% de chance de serem escolhidos, considerando cinco estilos musicais possíveis a cada possibilidade de mudança. Com isto cada estilo terá a mesma chance de ser escolhido na primeira transição na tarefa.

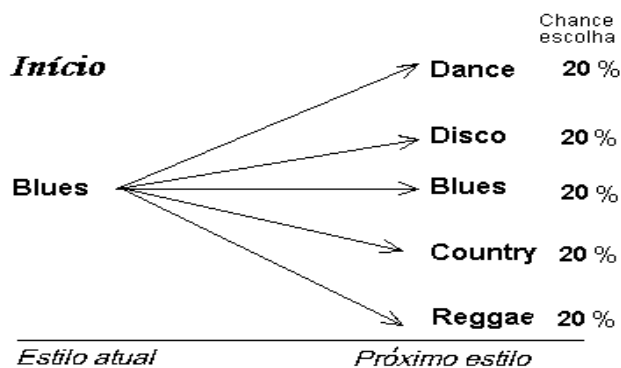


Figura 37: Transição inicial da coleta controlada

A **atualização dos pesos**, caracterizada pela *função valor*, é definida através da equação escolhida (E.3.18). Para cada atualização da *função valor*,  $f(\text{Estilo Anterior}, \text{Estilo Atual})$ , a diferença entre o valor anterior e o novo valor, é distribuída entre os outros quatro pesos possíveis na transição. Consideramos o estilo anterior e estilo atual para atualização dos pesos, por conseguirmos saber apenas como foi o resultado (retorno) da escolha do estilo após o mesmo ter sido apresentado.

Admitimos que a rede esteja suficientemente treinada a partir da terceira sequência de figuras apresentadas para o participante. Este é o tempo mínimo para uma atualização apropriada dos pesos referentes às transições.

Para as transições controladas aleatoriamente (Figura 38), o próximo estilo musical pode ser qualquer um dos estilos existentes, incluindo o atual. Cada estilo terá 11,11% de chance de ser escolhido.

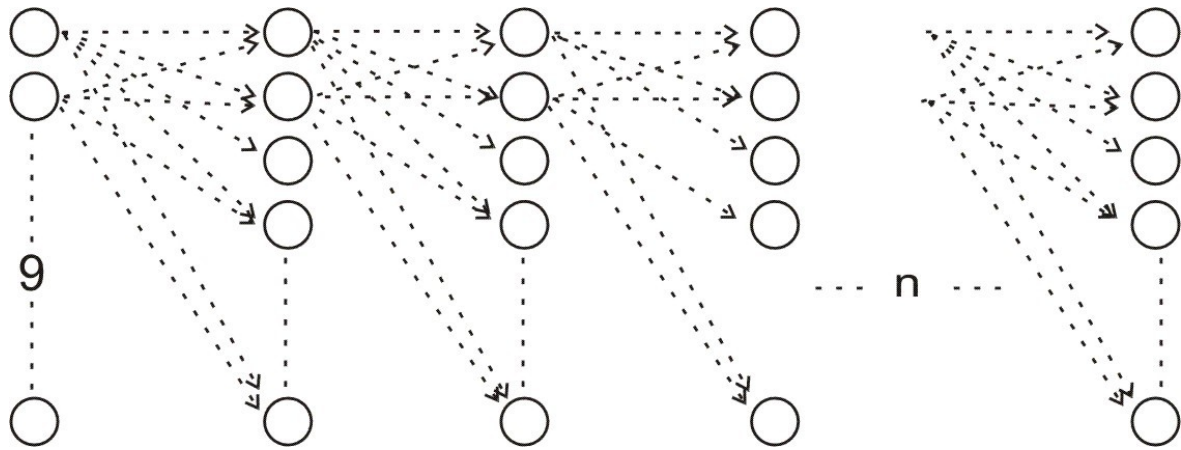


Figura 38: Transição aleatória

O **tempo de execução do estilo musical** foi ajustado empiricamente em trinta segundos e comprovado em pré-testes desta variável. Entendemos que, para valores menores, as mudanças poderiam se tornar muito frequentes, não permitindo a identificação do estilo musical. Para valores maiores que trinta segundos, nossa rede não seria suficientemente treinada para alcançar os resultados necessários.

## 6.4 Cenário da experimentação

A Análise Experimental do Comportamento (AEC), desenvolveu métodos para estudar como eventos ambientais (antecedentes e conseqüentes) podem controlar o comportamento. (SKINNER 1938; FERSTER&SKINNER 1957; CATANIA 1999b; IVERSEN&LATTAL 1991)

A tarefa utilizada no presente experimento é oriunda da AEC e tem sido denominada tradicionalmente “encadeamento” (do Inglês, *chaining*). A tarefa consiste na colocação, pelo participante, dos elementos de um conjunto de estímulos numa determinada ordem, ordem esta desconhecida pelo participante no início da tarefa. O arranjo ordenado de figuras é tecnicamente denominado “seqüência” ou “cadeia”. No curso da realização da tarefa, a aprendizagem de cada seqüência é considerada encerrada quando

o participante consegue montar toda sequência por três vezes consecutivas sem cometer erros.

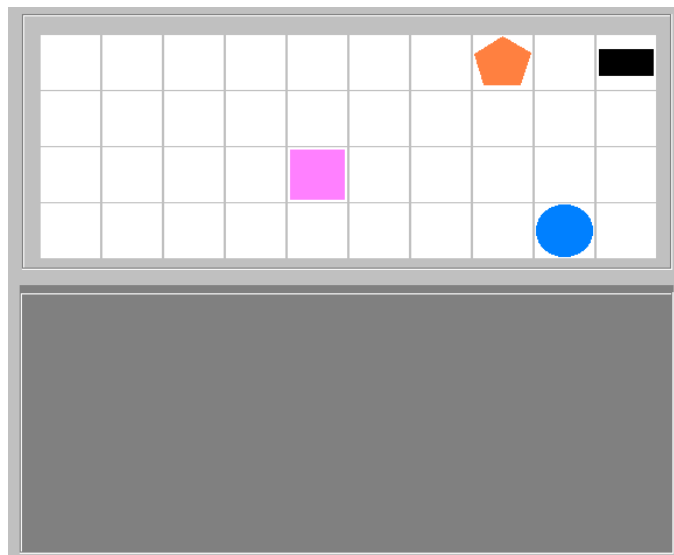
Na primeira sessão experimental, após a leitura e aceitação pelo participante, do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (vide ANEXO I), e do preenchimento, pelo experimentador, de um Cadastro de Identificação do participante (vide Figura 39), o participante recebe instruções (ANEXO II) por escrito de como deverá proceder para realizar a tarefa na prática.

**O preenchimento de todos os campos é obrigatório !!!**

|                        |                                             |                      |                                     |
|------------------------|---------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| E-mail:                | <input type="text" value="Participante 1"/> |                      |                                     |
| Nome:                  | <input type="text"/>                        | Sexo:                | <input type="text" value=""/>       |
| Endereço:              | <input type="text"/>                        |                      |                                     |
| Tel. residencial:      | <input type="text"/>                        |                      |                                     |
| Tel. celular:          | <input type="text"/>                        |                      |                                     |
| Data nascimento:       | <input type="text" value="dd/mm/aaaa"/>     | Escrita:             | <input type="text" value=""/>       |
| Profissão:             | <input type="text"/>                        |                      |                                     |
| Nacionalidade:         | <input type="text" value="Brasileiro"/>     |                      |                                     |
| Naturalidade:          | <input type="text"/>                        |                      |                                     |
| Situação estudo:       | <input type="text" value=""/>               |                      |                                     |
| Ritmo preferido:       | <input type="text" value=""/>               |                      |                                     |
| Experiências musicais: | <input type="text"/>                        |                      |                                     |
| Nível instrucional:    | <input type="text" value="Graduado"/>       |                      |                                     |
| Curso atual / último:  | <input type="text"/>                        |                      |                                     |
|                        | Mês/Ano início:                             | <input type="text"/> | Mês/Ano fim: <input type="text"/>   |
|                        | <input type="button" value="Ok"/>           |                      | <input type="button" value="Sair"/> |

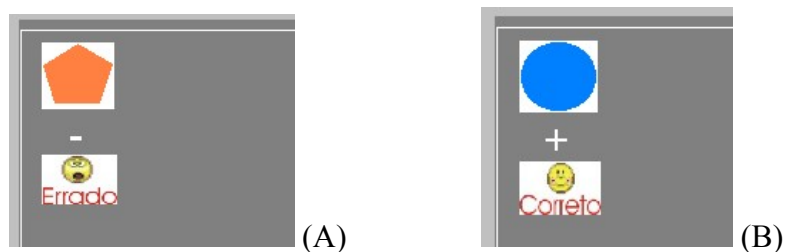
**Figura 39: Tela de cadastro dos participantes**

Em seguida, o participante confronta-se com outra tela (Figura 40) com as figuras da sequência a ser aprendida. Inicialmente, é apresentada uma sequência de habituação (Figura 40). A sequência de habituação tem apenas quatro estímulos, é programada para que o participante se familiarize com a tarefa e o arranjo das contingências.



**Figura 40: Tela de montagem da seqüência**

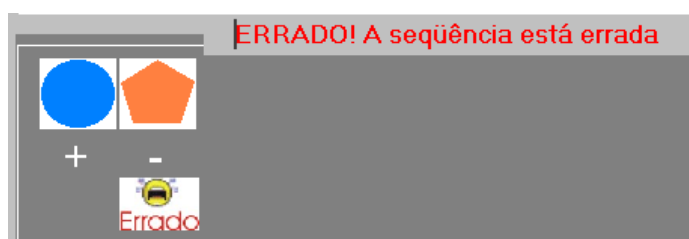
A parte central superior com quadrados brancos e forma retangular é denominada “matriz”, expressão que utilizaremos doravante. Na matriz se encontram as figuras que o participante deverá aprender a ordenar. A figura escolhida aparece no extremo esquerdo do campo cinza escuro, localizado logo abaixo da “matriz”. O participante é informado do seu erro ou acerto logo abaixo da figura. Caso a escolha seja errada (Figura 41 A) um sinal “-”, uma carinha triste e a palavra “Errado” são apresentadas logo abaixo da figura. Caso a escolha seja correta (Figura 41 B), um sinal “+” e uma carinha feliz e a palavra “Correto” são apresentadas logo abaixo da figura. Isto indica que o círculo é a primeira figura da seqüência. Em caso de erro ou acerto a figura ficará nesta posição por três segundos. Após os três segundos, ela deixará o campo cinza escuro e juntamente com as outras figuras serão embaralhadas e todas serão apresentadas na “matriz”.



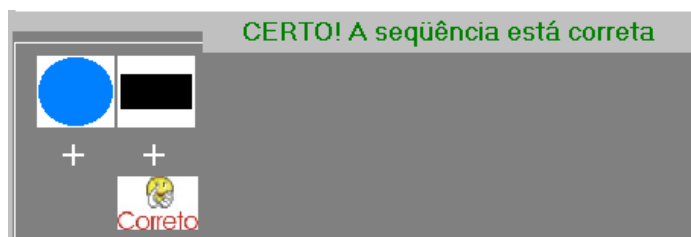
**Figura 41: Resultado da escolha da figura**

Neste ponto o participante já sabe que a primeira figura da seqüência é o círculo. Contudo, a tarefa é ordenar todas as figuras da seqüência, devendo descobrir qual a figura

vem em segundo lugar, qual figura vem em terceiro lugar e assim por diante até a última figura da sequência. A partir da segunda vez que o participante acertar uma figura, ele terá a oportunidade de realizar mais uma escolha antes do campo cinza escuro ficar vazio. Assim, considerando o exemplo acima, quando escolher a primeira figura da sequência (círculo) pela segunda vez ela aparecerá no campo cinza escuro com todas as informações sobre o acerto. O círculo e o sinal de “+” permanecerão no campo cinza escuro até que ele faça uma nova escolha, ou seja, a figura que ele acredita ser a segunda figura da sequência. A partir da segunda figura escolhida o participante passará a receber, além da informação de erro e acerto de cada figura, as informações sobre o erro (Figura 42) ou acerto (Figura 43) da sequência. Os acertos consecutivos serão mantidos no campo cinza escuro até a escolha seguinte.



**Figura 42: Segunda escolha errada**



**Figura 43: Segunda escolha correta**

Quando a primeira e a segunda figura da sequência forem escolhidas corretamente de novo, elas serão mantidas no campo cinza escuro até a escolha da terceira figura e assim sucessivamente. Lembrando que só consideramos a sequência aprendida pelo participante quando ele acerta a mesma sequência três vezes consecutivas, sem erros.

Ao final da aprendizagem de cada sequência, será questionado ao participante se ele deseja prosseguir para a próxima sequência. Respondendo que “sim”, ele segue até a última das quatro sequências programadas que deverão ser aprendidas.

Maiores detalhes sobre as instruções para o participante poderão ser encontrados no ANEXO II.

Definimos oito medidas de desempenho como variáveis dependentes na tarefa: duração da aquisição da seqüência (D em segundos), número de tentativas para a aquisição da seqüência (NTt), latência média de resposta ao estímulos da seqüência ( $\mu$ Lt, em segundos), número de erros reais (NER), tempo de agregação seqüencial (TAgS), tempo de agregação seqüencial real (TAgSR), número de tentativas de agregação seqüencial (NTtAgS) e número de tentativas de agregação seqüencial real (NTtAgSR).

- **Duração da Aquisição da Seqüência (D em segundos)** é o tempo decorrente do início da tarefa, até o momento em que o participante cumpre o critério de aprendizagem (montagem completa da seqüência por três vezes consecutivas corretamente).
- **Número de Tentativas para a Aquisição da Seqüência (NTt)** é o número de todas as vezes em que o participante, desde a colocação do primeiro estímulo, tenta montar a seqüência. No exemplo do ANEXO III temos 93 NTt
- **Latência Média de Resposta aos Estímulos da Seqüência (Lt $\mu$ , em segundos)** é o tempo de duração da tarefa (hora de final da seqüência menos hora de início de seqüência) medido em segundos dividido pelo número de tentativas para a aquisição da seqüência (NTt).
- **O Número de Erros Reais (NER)** refere-se ao número de escolhas erradas cometidas pelo participante em relação a um estímulo, após ter sido o estímulo escolhido corretamente a primeira vez. No presente experimento, considerou-se, de fato, o número total de erros reais por seqüência aprendida, e não o número observado para cada estímulo ao longo do processo de aquisição. No exemplo do ANEXO III temos 23 erros reais

ocorridos nas seguintes tentativas (13, 17, 23, 29, 34, 35, 41, 44, 45, 49, 55, 56, 60, 61, 68, 73, 74, 79, 83, 86, 87, 88 e 90).

- **O Tempo de Agregação Sequencial (TAgS)** é uma medida tomada para cada estímulo da sequência. Para o primeiro estímulo da sequência, é o tempo que decorre do início da tarefa até a escolha correta do estímulo programado para a primeira posição. Para o segundo estímulo da sequência, é o tempo que decorre do momento em que ocorre a escolha correta do estímulo programado para a primeira posição e a escolha correta do estímulo programado para a segunda posição. Para o terceiro estímulo da sequência, é o tempo que decorre do momento em que ocorre a escolha correta do estímulo programado para a segunda posição e a escolha correta do estímulo programado para a terceira posição; e assim sucessivamente até o último estímulo programado. A mensuração do TAgS é feita desconsiderando-se erros eventualmente cometidos pelo participante após o primeiro acerto de cada estímulo. Exemplo no ANEXO III.
- **O Tempo de Agregação Sequencial Real (TAgSR)** é também mensurado para cada estímulo da sequência, de modo semelhante ao TAgS. Para qualquer dos estímulos da sequência, é o tempo que decorre do momento em que ocorre a agregação do estímulo (primeiro acerto) e o momento em que o participante não mais erra a escolha do estímulo. Assim, o TAgS e o TAgSR podem coincidir. Neste caso, o TAgSR será igual a zero. Exemplo no ANEXO III.
- **O Número de Tentativas de Agregação Sequencial (NTtAgS)** é uma medida tomada para cada tentativa na sequência. Para o primeiro estímulo da sequência, é o número de tentativas do início da tarefa até a escolha correta do estímulo programado para a primeira posição. Para o segundo

estímulo da sequência, é o número de tentativas do momento em que ocorre a escolha correta do estímulo programado para a primeira posição e primeira escolha correta do estímulo programado para a segunda posição. Para o terceiro estímulo da sequência, é o número de tentativas do momento em que ocorre a escolha correta do estímulo programado para a segunda posição e a primeira escolha correta do estímulo programado para a terceira posição; e assim sucessivamente até o último estímulo programado. A mensuração da NTtAgS é feita desconsiderando-se erros eventualmente cometidos pelo participante após o primeiro acerto de cada estímulo. Exemplo no ANEXO III.

- **O Número de Tentativas de Agregação Sequencial Real (NTtAgSR)** é também mensurado para cada estímulo da sequência, de modo semelhante ao NTtAgS. Para qualquer dos estímulos da sequência, é o número de tentativas que decorre do momento em que ocorre a agregação do estímulo (primeiro acerto) e o momento do participante não mais errar a escolha do estímulo. Assim, o NTtAgS e o NTtAgSR podem coincidir. Neste caso, o NTtAgSR será igual a zero. Exemplo no ANEXO III.

## 6.5 Delineamento experimental

Para avaliarmos a **relevância estatística** dos resultados obtidos pelo sistema proposto (que controla inteligentemente as escolhas dos estilos musicais), realizamos a **comparação** com coletas em silêncio, coleta que efetua a escolha dos estilos musicais de forma aleatória e escolha inteligente. Descrevemos abaixo como as coletas de dados foram realizadas e como adotamos os critérios da comparação entre sequências de mesma coleta e entre situações (silêncio, aleatória e controlada) para extrair as conclusões das experiências

realizadas.

### 6.5.1 Condições da coleta de dados

As **coletas de dados** foram realizadas em sessões onde o indivíduo recebeu o mínimo de interferência possível como luz e temperatura. O aprendizado foi o único alvo de concentração e o estímulo musical uma variável indireta. O número de estilos apresentados variou de acordo com o tempo que o participante levou para terminar o experimento. As sessões foram conduzidas no Laboratório de Análise Experimental de Comportamento do Departamento de Psicologia (LAEC/PSI/UCG). Neste local, existem salas especialmente preparadas, com isolamento acústico e ar condicionado, a fim de evitar as interferências anteriormente mencionadas. Nestas salas, o indivíduo é acomodado em uma cadeira, e, através de caixas de som, ouve os estilos musicais apresentados pelo sistema, exceto na coleta em silêncio.

As **medidas de desempenho** foram tomadas a cada seleção de figuras, sendo armazenadas em um banco de dados com a finalidade de se realizar as devidas avaliações estatísticas, que serão detalhadas mais adiante.

As características exigidas dos participantes foram:

- Ser universitários,
- Ter conhecimentos básicos de informática, e
- Idades entre 17 e 35 anos.

Utilizou-se delineamento experimental de grupos independentes com três grupos formados oportunisticamente (não randomicamente). A **análise estatística** deste trabalho adotou uma **definição de grupos de estudo**, onde cada indivíduo foi submetido a uma sequência de habituação com a tarefa (Figura 44). Em seguida, foram apresentadas quatro seqüências de figuras, cada uma contendo dezesseis figuras distintas (Figura 45, Figura 46, Figura 47 e Figura 48). As quatro seqüências foram apresentadas na mesma ordem para

todos os grupos e as dezesseis figuras (estímulos) faziam parte das quatro seqüências, apresentando ordens distintas.

Nome: *SHAB*

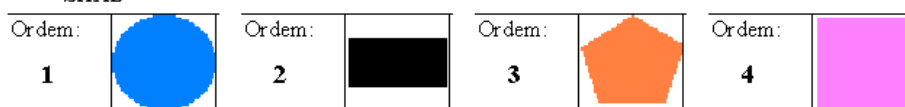


Figura 44: Seqüência de habituação

Nome: *SEQ001A*

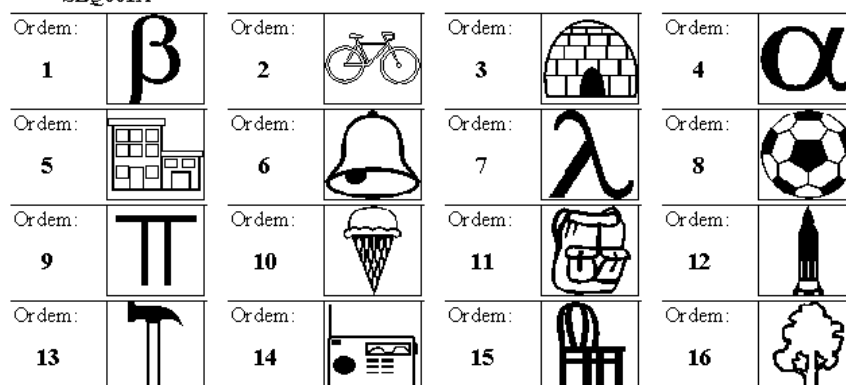


Figura 45: Primeira seqüência apresentada

Nome: *SEQ002A*

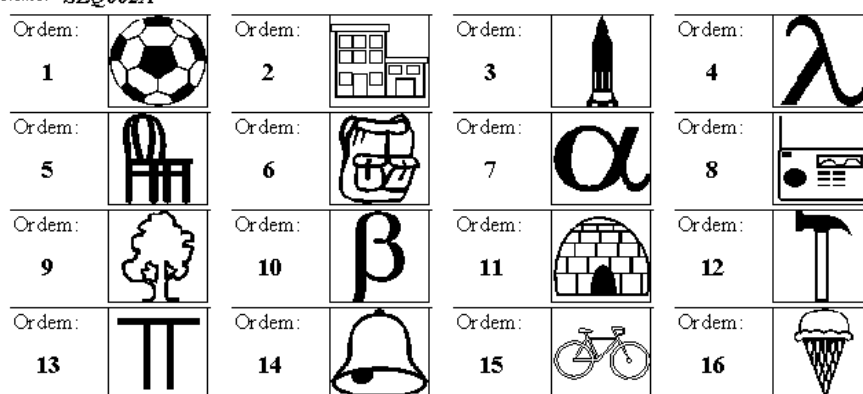


Figura 46: Segunda seqüência apresentada

Nome: *SEQ003A*

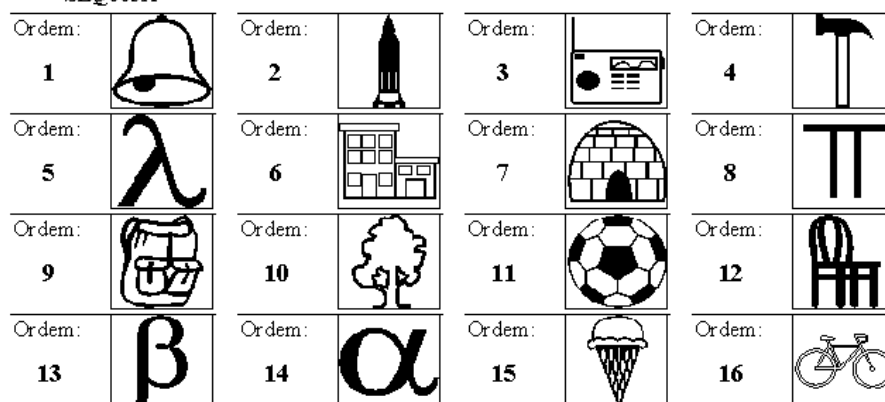


Figura 47: Terceira seqüência apresentada

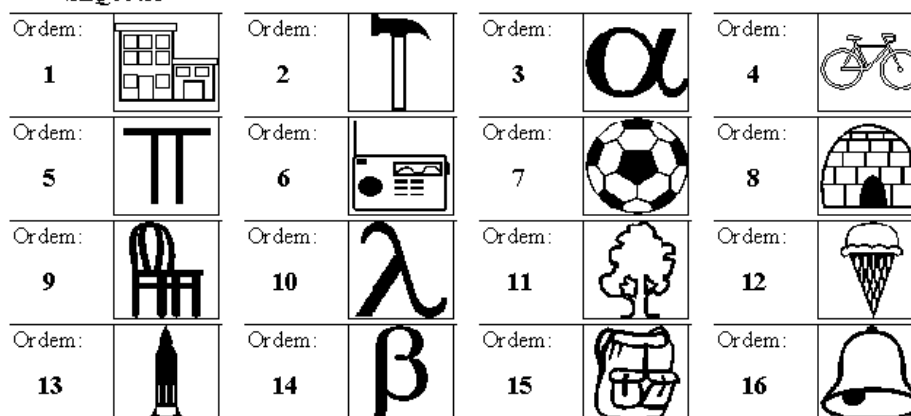
Nome: *SEQ004A*

Figura 48: Quarta seqüência apresentada

A aplicação se deu da seguinte forma: **Grupo Silêncio**, onde no decorrer das quatro seqüências de figuras, foram aprendidas em silêncio “Coleta em Silêncio”. O **Grupo Aleatório**, onde, no decorrer do aprendizado das quatro seqüências de figuras, foi submetido a sucessões aleatórias de estilos musicais. O **Grupo Controlado**, onde, no decorrer do aprendizado das quatro seqüências de figuras, foram submetidos a sucessões de estilos musicais determinadas pelo sistema inteligente proposto. Tal estrutura e o tamanho de cada grupo estão representados na Figura 49. Perceba que os dois primeiros grupos funcionam como grupos de controle, enquanto o terceiro, Grupo Controlado, caracteriza o Grupo Experimental, onde a parte inteligente do sistema proposto realmente atua.

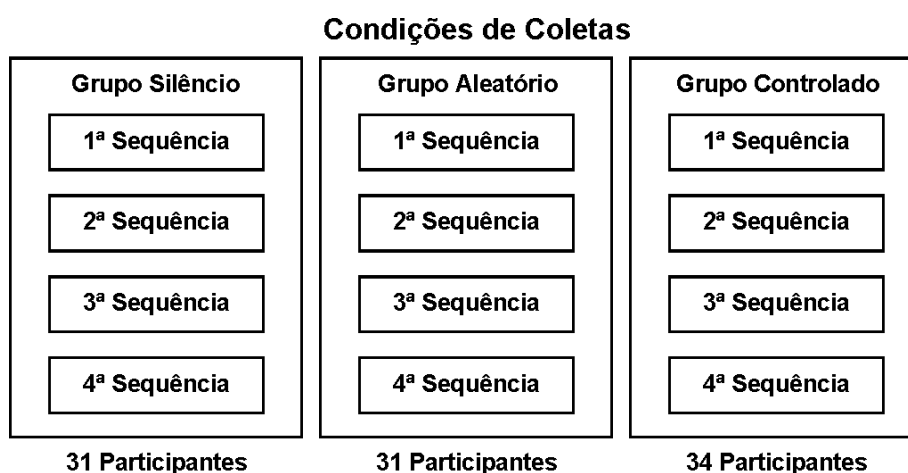


Figura 49: Grupos e condições de coleta

## 6.6 Análise de resultados

### 6.6.1 Análise Descritiva

Neste trabalho, consideramos uma amostra de 96 pessoas, sendo 31 coletadas no Grupo Silêncio, 31 coletadas no Grupo Aleatório e 34 coletadas no Grupo Controlado.

Apresentamos, na Tabela 1, o conjunto dos dados representados pela amostra, possibilitando descrever as relações estatísticas sob diversos ângulos. Os **valores** estão representados pela **média dos dados coletados**.

**Tabela 1: Análise descritiva dos dados coletados**

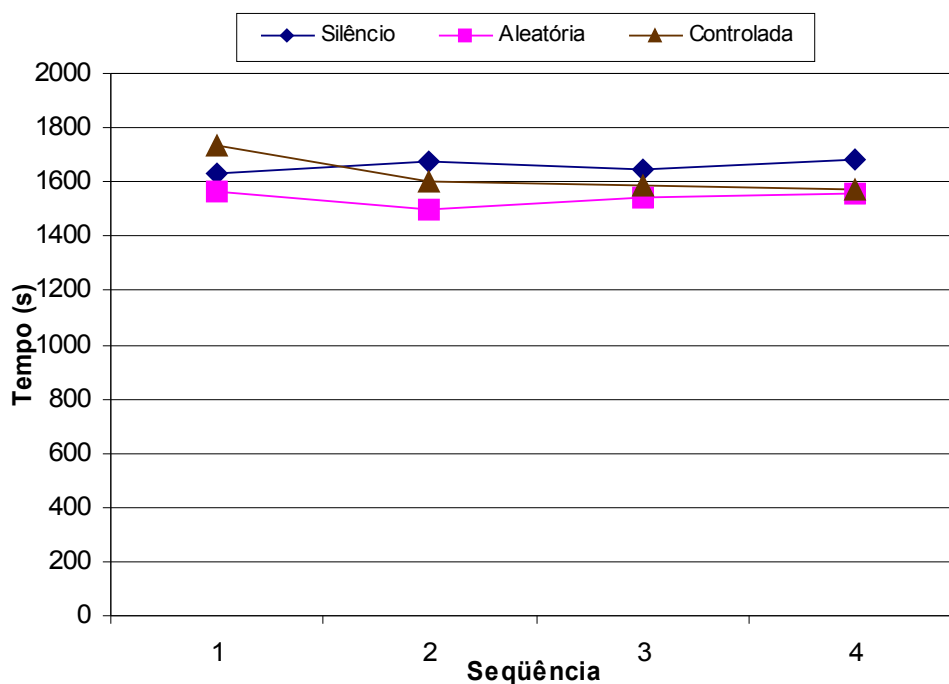
| Se<br>quên<br>cia | Condição   | $\mu$<br>D | $\mu$<br>L<br>T<br>$\mu$ | $\mu$<br>N<br>T<br>t | $\mu$<br>N<br>E<br>R | $\mu$<br>T<br>A<br>g<br>S | $\mu$<br>T<br>A<br>g<br>S<br>R | $\mu$<br>N<br>T<br>t<br>A<br>g<br>S | $\mu$<br>N<br>T<br>t<br>A<br>g<br>S<br>R |
|-------------------|------------|------------|--------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|
| 1 <sup>a</sup>    | Silêncio   | 1631,35    | 2,58                     | 95,94                | 7,35                 | 75,89                     | 144,61                         | 5,24                                | 7,64                                     |
|                   | Aleatório  | 1562,81    | 2,53                     | 97,65                | 5,39                 | 73,34                     | 111,01                         | 5,48                                | 6,72                                     |
|                   | Controlada | 1737,06    | 2,52                     | 109,09               | 7,88                 | 83,74                     | 148,16                         | 5,94                                | 8,36                                     |
| 2 <sup>a</sup>    | Silêncio   | 1673,10    | 2,71                     | 98,16                | 9,19                 | 78,39                     | 196,69                         | 5,23                                | 10,2                                     |
|                   | Aleatório  | 1501,77    | 2,61                     | 91,42                | 5,74                 | 68,32                     | 117,78                         | 5,03                                | 6,67                                     |
|                   | Controlada | 1604,44    | 2,54                     | 99,50                | 7,06                 | 76,19                     | 149,81                         | 5,41                                | 8,65                                     |
| 3 <sup>a</sup>    | Silêncio   | 1647,81    | 2,63                     | 100,03               | 6,45                 | 78,32                     | 123,43                         | 5,63                                | 7,07                                     |
|                   | Aleatório  | 1545,42    | 2,65                     | 95,94                | 5,68                 | 72,30                     | 121,21                         | 5,34                                | 6,65                                     |
|                   | Controlada | 1588,24    | 2,50                     | 103,21               | 7,47                 | 76,57                     | 132,61                         | 5,65                                | 7,61                                     |
| 4 <sup>a</sup>    | Silêncio   | 1680,39    | 2,64                     | 99,35                | 7,94                 | 80,07                     | 178,85                         | 5,44                                | 9,84                                     |
|                   | Aleatório  | 1558,42    | 2,60                     | 95,26                | 6,35                 | 72,95                     | 134,09                         | 5,25                                | 8,04                                     |
|                   | Controlada | 1570,88    | 2,47                     | 96,26                | 7,44                 | 75,29                     | 152,42                         | 5,26                                | 8,34                                     |

Vamos tomar, como exemplo, a média de duração da aquisição da sequência ( $\mu$ D) e comparar os três tipos de coleta em relação às quatro seqüências de figuras apresentadas:

- Para os dados da condição “Silêncio” obtivemos, na primeira seqüência, média de 1631,35; na segunda, 1673,10; na terceira, 1647,81 e, na última, 1680,39.
- Para os dados da condição “Aleatória” obtivemos, na primeira seqüência, média de 1562,81; na segunda, 1501,77; na terceira, 1545,42 e, na última, 1558,42.

- Para os dados da condição “Controlada” obtivemos, na primeira seqüência, média de 1737,06; na segunda, 1604,44; na terceira, 1588,24 e, na última, 1570,88.

Para facilitar a análise dos dados, alguns gráficos são mostrados com uma breve descrição das alterações de valores. Vale lembrar que os valores representados dizem respeito à **média dos dados** dos grupos em cada uma das quatro seqüências conforme Tabela 1 .

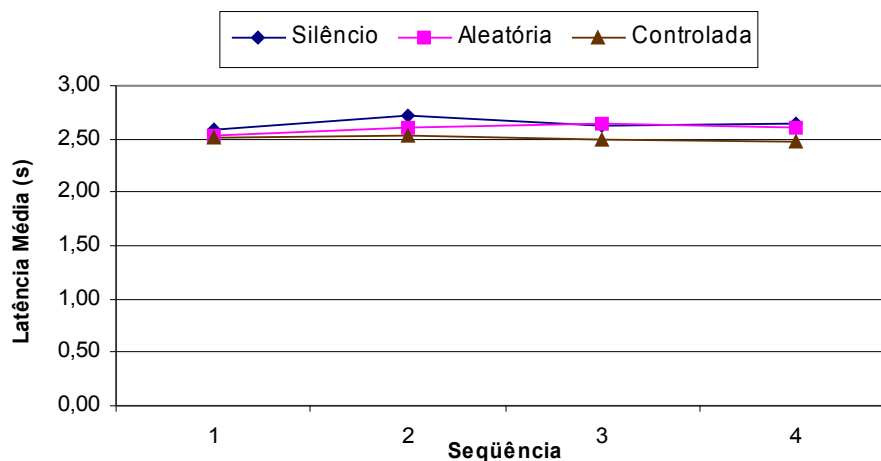


**Figura 50: Médias globais por seqüência de durações médias individuais de aquisição das seqüências**

A média de duração de aquisição das seqüências ( $\mu D$ ) (Figura 50) da coleta em silêncio, apresenta um aumento no tempo, seguido de um decréscimo e um novo aumento no tempo de duração. A coleta aleatória apresenta uma redução da primeira para a segunda seqüência, seguida de dois aumentos no tempo de duração. A **coleta controlada** (inteligente) apresentou um **decréscimo** dos **valores** da primeira seqüência até a última, representando um dos fatores mais interessantes da nossa coleta.

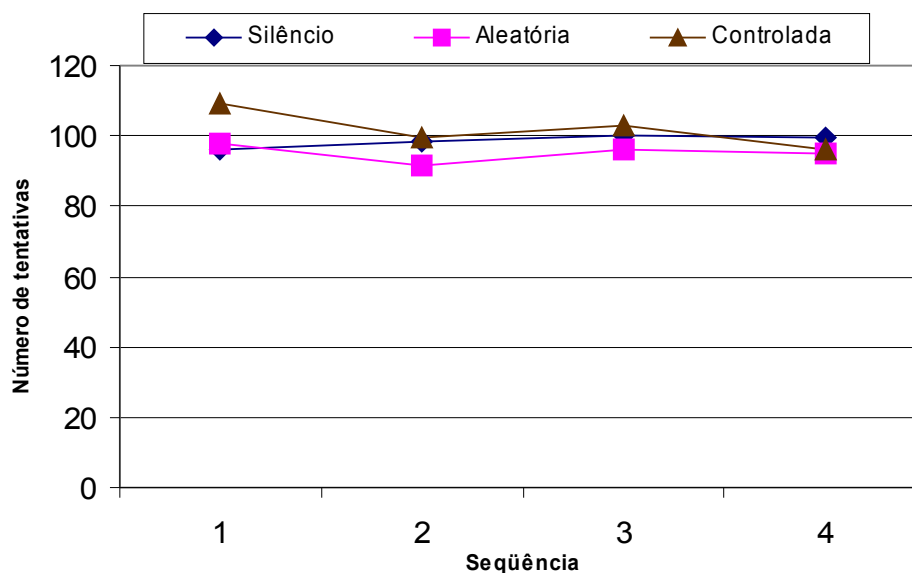
A média da latência média de resposta aos estímulos da seqüência ( $\mu Lt_{\mu}$ ) (Figura 51) apresenta, na coleta controlada, uma pequena elevação da primeira para a segunda seqüência e uma redução linear até a última seqüência. A coleta em silêncio comporta-se

de forma irregular, enquanto a coleta aleatória aumenta a latência média da resposta e, somente após a terceira seqüência, diminui seus valores.



**Figura 51: Médias globais por seqüência de latências médias individuais de respostas aos estímulos da seqüência**

A média de número de tentativas para a aquisição da seqüência ( $\mu$ NTt), por seqüência (Figura 52) para a coleta em silêncio apresenta um ligeiro crescimento. A coleta controlada inicia e termina com valores muito próximos. A **coleta controlada** apresenta uma **diminuição significativa** podendo vir a ser o dado mais importante da nossa coleta.



**Figura 52: Médias globais por seqüência do número de tentativas para a aquisição da seqüência**

As médias de número de erros reais ( $\mu$ NER) por seqüências (Figura 53) apresentam na coleta controlada, uma redução mínima da primeira para a última seqüência. A coleta

em silêncio se comporta de forma irregular, mas mantém praticamente o mesmo valor inicial e final. A coleta aleatória apresenta um aumento mínimo.

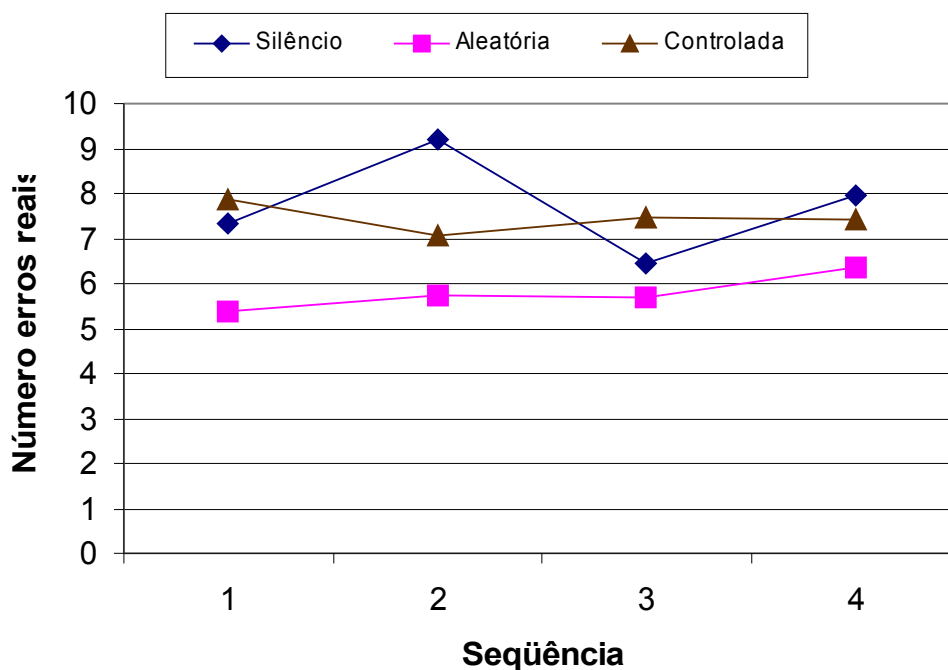
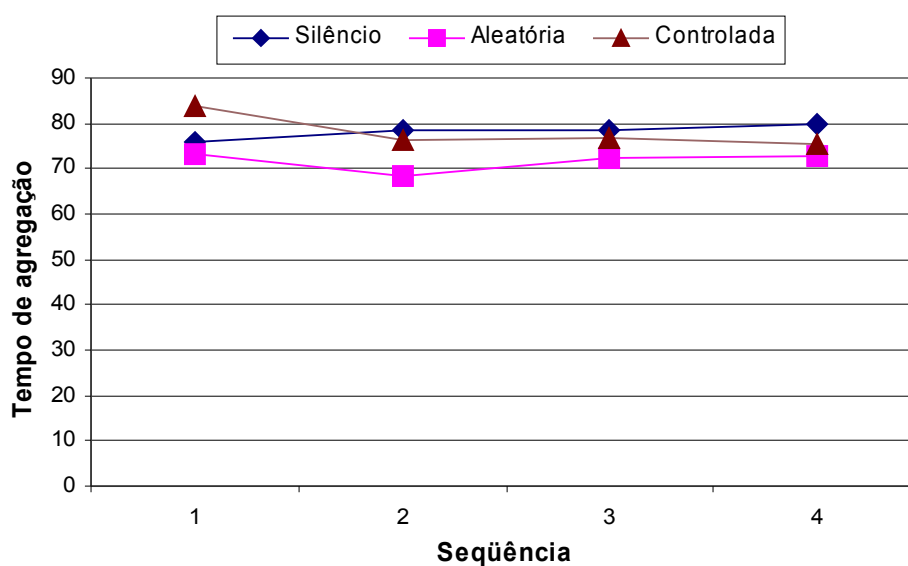


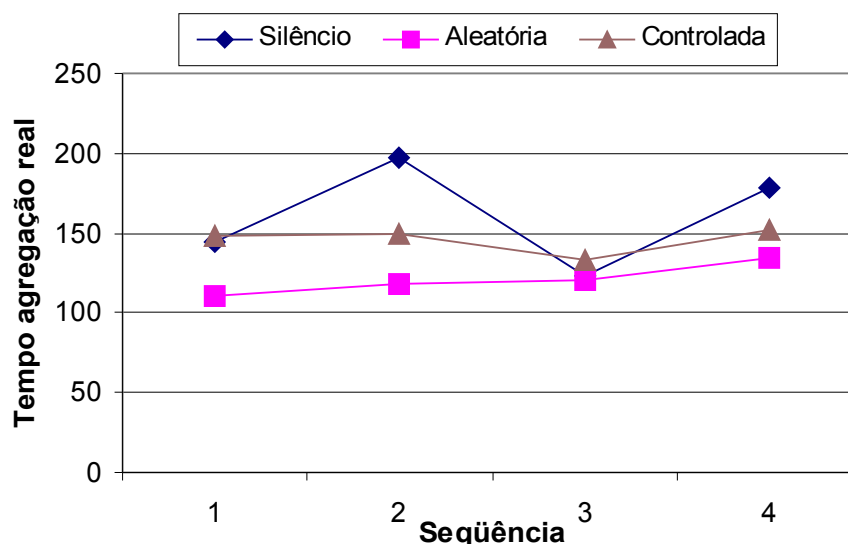
Figura 53: Médias globais por seqüência do número de erros reais por seqüência

As médias de tempo de agregação seqüencial ( $\mu$ TAgS) por seqüências (Figura 54) apresentam na coleta controlada, uma redução da primeira para a última seqüência. A coleta em silêncio apresenta um aumento da primeira para a última seqüência. A coleta aleatória demonstra uma redução da primeira para a segunda seqüência e finalizando com valores próximos aos da primeira seqüência.



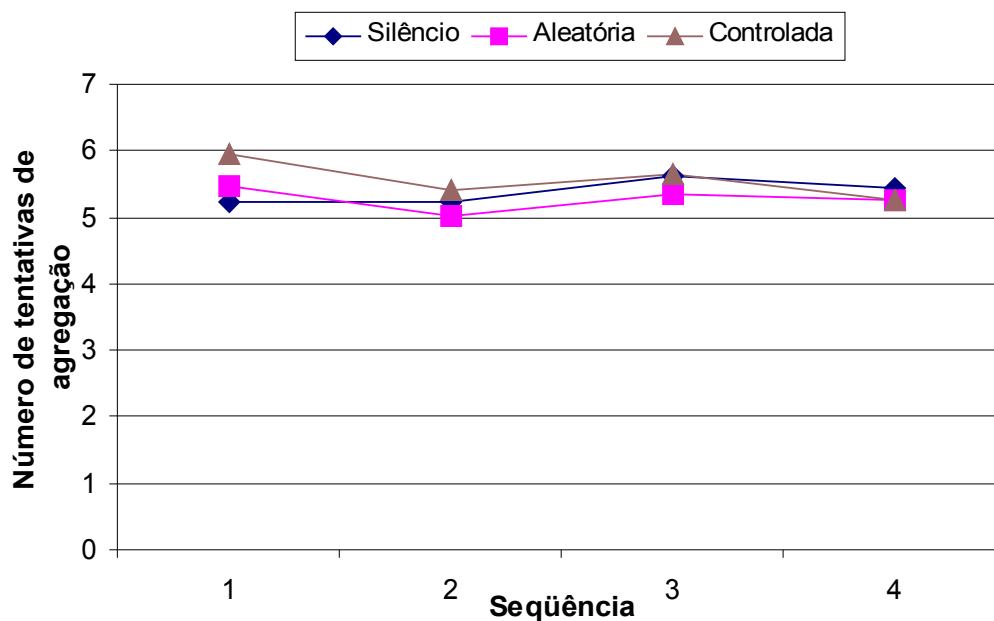
**Figura 54: Médias globais por seqüência do tempo de agregação seqüencial por seqüência**

As médias de tempo de agregação seqüencial real ( $\mu\text{TAgSR}$ ) por seqüências (Figura 55) apresentam na coleta controlada um desempenho constante. A coleta aleatória apresentou um ligeiro aumento da primeira para a última seqüência. A coleta em silêncio apresentou uma oscilação durante as seqüências finalizando com um ligeiro aumento.



**Figura 55: Médias globais por seqüência do tempo de agregação seqüencial real por seqüência**

As médias do número de tentativas de agregação seqüencial ( $\mu\text{NTtAgS}$ ) por seqüências (Figura 56) apresentam na coleta controlada uma redução da primeira para a última seqüência. A coleta em silêncio se mantém praticamente idêntica da primeira para a segunda seqüência seguida de um aumento para a terceira e uma ligeira redução na última seqüência. A coleta aleatória teve desempenho similar a coleta controlada iniciando com um valor menor e terminando praticamente idêntico à coleta controlada.



**Figura 56: Médias globais por seqüência do número de tentativas de agregação seqüencial por seqüência**

As médias do número de tentativas de agregação seqüencial real ( $\mu\text{NTtAgSR}$ ) por seqüências (Figura 57) apresentam na coleta controlada da primeira para a última seqüência uma constância nos valores. A coleta em silêncio apresentou uma forma irregular entre as seqüências terminando com valor maior que o inicial. A coleta aleatória apresentou uma constância entre a primeira e terceira seqüência e um aumento na última seqüência.

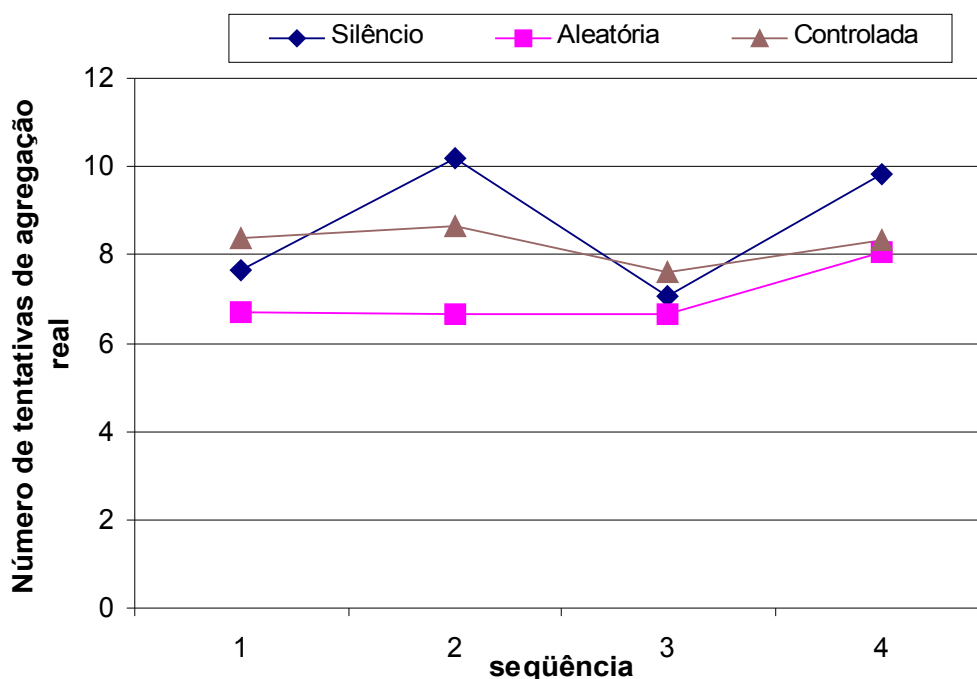


Figura 57: Médias globais por sequência do número de tentativas de agregação sequencial real por sequência

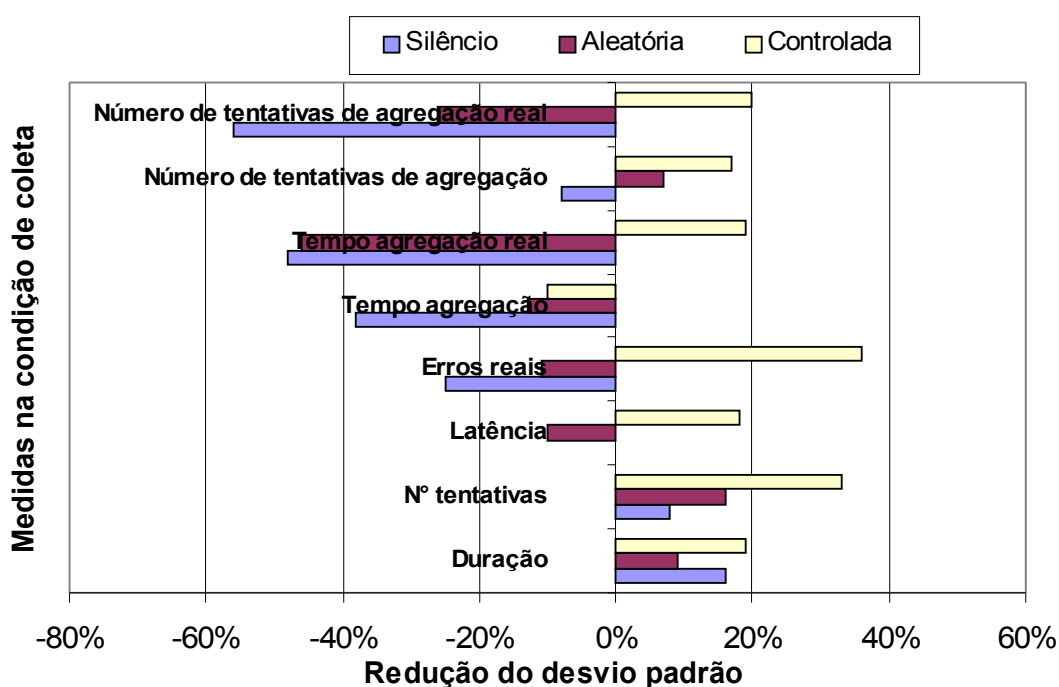
Quanto à variabilidade presente nos dados coletados, uma das medidas mais populares é o desvio padrão. Tal medida nos mostra a homogeneidade dos valores. Comparando os resultados estatísticos da Tabela 2, resultado da análise estatística da comparação de duas amostras (valores entre a 1<sup>a</sup> e a 4<sup>a</sup> sequência) presumindo variâncias diferentes, podemos verificar na **coleta aleatória** um **aumento** do **desvio padrão** de 10% na latência média de resposta aos estímulos da sequência, 11% para o número de erros reais, 13% no tempo para a agregação, 26% para a número de tentativas de agregação sequencial real e 46% para o tempo de agregação sequencial real. A **coleta em silêncio** apresentou um **aumento** de 25% na média de número de erros reais, 38% para o tempo de agregação sequencial, 48% para o tempo de agregação sequencial real e 56% no número de tentativas de agregação sequencial real. Para estas duas condições podemos dizer que as amostra são heterogêneas.

Na **coleta controlada** (inteligente), observamos **reduções do desvio padrão** de **19%** na duração da aquisição da sequência, **33%** no número de tentativas para a aquisição da sequência, **18%** na latência média de resposta aos estímulos da sequência, **36%** no

número de erros reais, **19%** no tempo de agregação sequencial real, **17%** no número de tentativas de agregação sequencial e **20%** no número de tentativas de agregação sequencial real, caracterizando uma amostra mais **homogênea**. O tempo de agregação sequencial foi a única medida a apresentar redução no desvio padrão na coleta controlada.

**Tabela 2: Redução do desvio padrão comparando a 1ª e a 4ª sequência**

| CONDIÇÃO   | $\mu D$    | $\mu NTt$  | $\mu Lt\mu$ | $\mu NER$  | $\mu TAgS$ | $\mu TAgSR$ | $\mu NTtAgS$ | $\mu NTtAgSR$ |
|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|--------------|---------------|
| Silêncio   | 16%        | 8%         | 0%          | -25%       | -38%       | -48%        | -8%          | -56%          |
| Aleatória  | 9%         | <b>16%</b> | -10%        | -11%       | -13%       | -46%        | 7%           | -26%          |
| Controlada | <b>19%</b> | <b>33%</b> | <b>18%</b>  | <b>36%</b> | -10%       | <b>19%</b>  | <b>17%</b>   | <b>20%</b>    |



**Figura 58: Redução das diferenças do desvio padrão entre a 1ª e a 4ª sequência**

Vamos comparar as relações existentes entre as condições de coleta analisadas para cada uma das medidas. A Tabela 3 representa a redução do desvio padrão entre as condições de coleta Silêncio x Aleatória, Silêncio x Controlada e Aleatória x Controlada.

**Tabela 3: Redução do desvio padrão entre condições**

| CONDIÇÃO                  | Silêncio<br>x<br>Aleatória | Silêncio<br>x<br>Controlada | Aleatória x<br>Controlada |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| $\mu D - 1^a$ Sequência   | 22%                        | -11%                        | -43%                      |
| $\mu D - 4^a$ Sequência   | 17%                        | -7%                         | -28%                      |
| $\mu NTt - 1^a$ Sequência | -12%                       | -55%                        | -38%                      |

|                                              |            |            |       |
|----------------------------------------------|------------|------------|-------|
| $\mu\text{NTt} - 4^{\text{a}}$ Seqüência     | -3%        | -14%       | -11%  |
| $\mu\text{Lt}\mu - 1^{\text{a}}$ Seqüência   | 19%        | 12%        | -9%   |
| $\mu\text{Lt}\mu - 4^{\text{a}}$ Seqüência   | 11%        | <b>27%</b> | 19%   |
| $\mu\text{NER} - 1^{\text{a}}$ Seqüência     | 36%        | -43%       | -124% |
| $\mu\text{NER} - 4^{\text{a}}$ Seqüência     | <b>43%</b> | <b>26%</b> | -30%  |
| $\mu\text{TAgS} - 1^{\text{a}}$ Seqüência    | -1%        | -7%        | -7%   |
| $\mu\text{TAgS} - 4^{\text{a}}$ Seqüência    | 18%        | <b>15%</b> | -4%   |
| $\mu\text{TAgSR} - 1^{\text{a}}$ Seqüência   | 18%        | -33%       | -63%  |
| $\mu\text{TAgSR} - 4^{\text{a}}$ Seqüência   | <b>20%</b> | <b>27%</b> | 10%   |
| $\mu\text{NTtAgS} - 1^{\text{a}}$ Seqüência  | -13%       | -24%       | -10%  |
| $\mu\text{NTtAgS} - 4^{\text{a}}$ Seqüência  | 3%         | 5%         | 1%    |
| $\mu\text{NTtAgSR} - 1^{\text{a}}$ Seqüência | -2%        | -43%       | -40%  |
| $\mu\text{NTtAgSR} - 4^{\text{a}}$ Seqüência | 18%        | <b>27%</b> | 11%   |

Verificamos para a média de duração (Figura 59) na condição de coleta aleatória, quando comparada com a coleta em silêncio, apresentou uma redução do desvio padrão de 22 % na 1ª seqüência e uma queda para 17% na 4ª seqüência. A condição controlada, quando comparando com a condição silêncio, apresentou um aumento de 11% no desvio padrão na 1ª seqüência e uma queda para 7% na 4ª seqüência. A condição controlada, quando comparada com a condição aleatória, apresentou um aumento de 43% na 1ª seqüência chegando a 28% na 4ª seqüência.

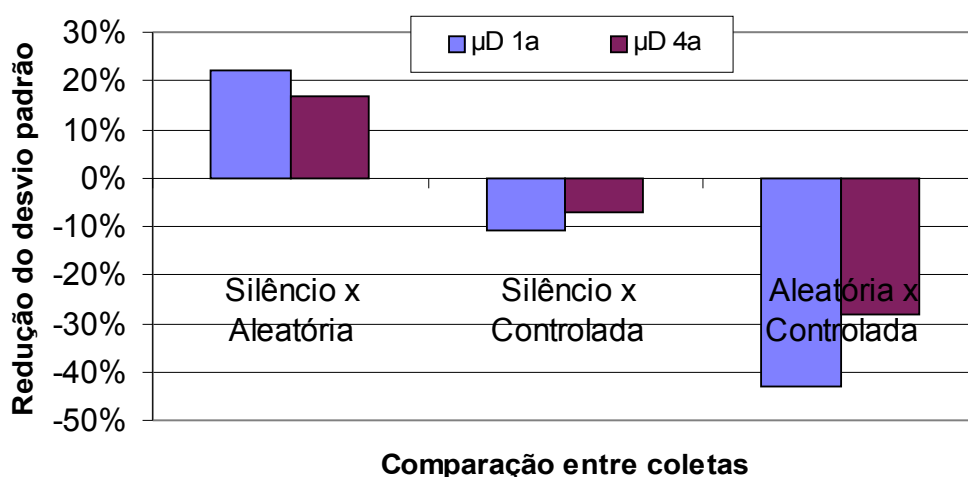


Figura 59: Redução da média de duração entre condições

Verificamos para a média do número de tentativas (Figura 60) na condição de coleta aleatória, quando comparada com a coleta em silêncio, apresentou um aumento do

desvio padrão de 12% na 1ª seqüência e uma queda para 3% na 4ª seqüência. A condição controlada, quando comparando com a condição silêncio, apresentou um aumento de 55% no desvio padrão na 1ª seqüência e uma queda para 14% na 4ª seqüência. A condição controlada, quando comparada com a condição aleatória, apresentou um aumento de 38% na 1ª seqüência chegando a 11% na 4ª seqüência.

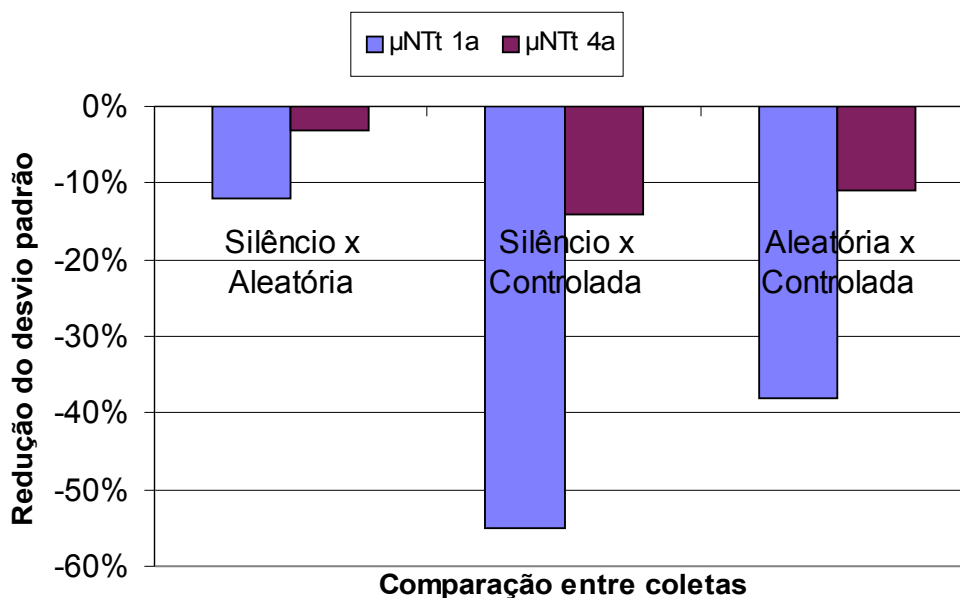
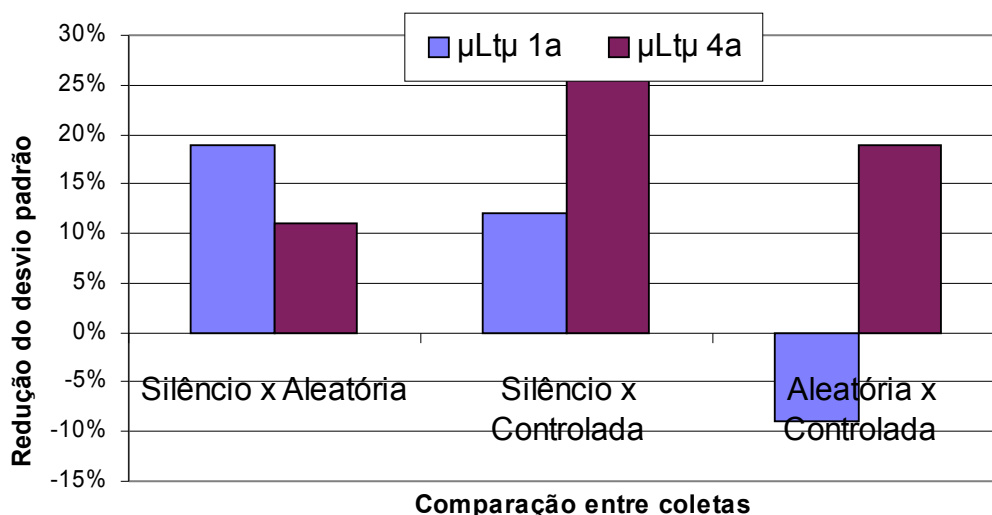


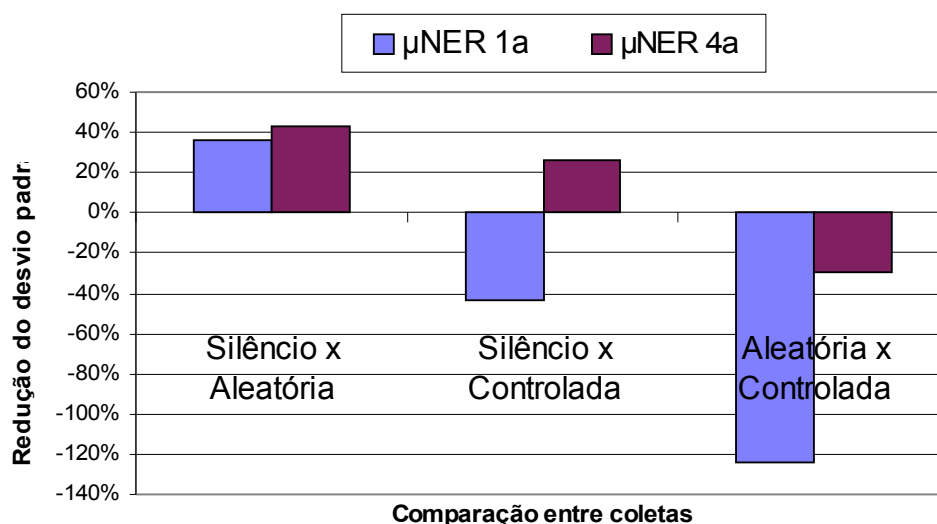
Figura 60: Redução média do número de tentativas entre condições

Verificamos para a média da latência média (Figura 61) na condição de coleta aleatória, quando comparada com a coleta em silêncio, apresentou uma redução do desvio padrão de 19% na 1ª seqüência e uma queda para 11% na 4ª seqüência. A condição controlada, quando comparando com a condição silêncio, apresentou uma redução de 12% no desvio padrão na 1ª seqüência chegando a reduzir em 27% na 4ª seqüência. A condição controlada, quando comparada com a condição aleatória, apresentou um aumento de 9% na 1ª seqüência sendo reduzida para 19% na 4ª seqüência.



**Figura 61: Redução da média da latência média entre condições**

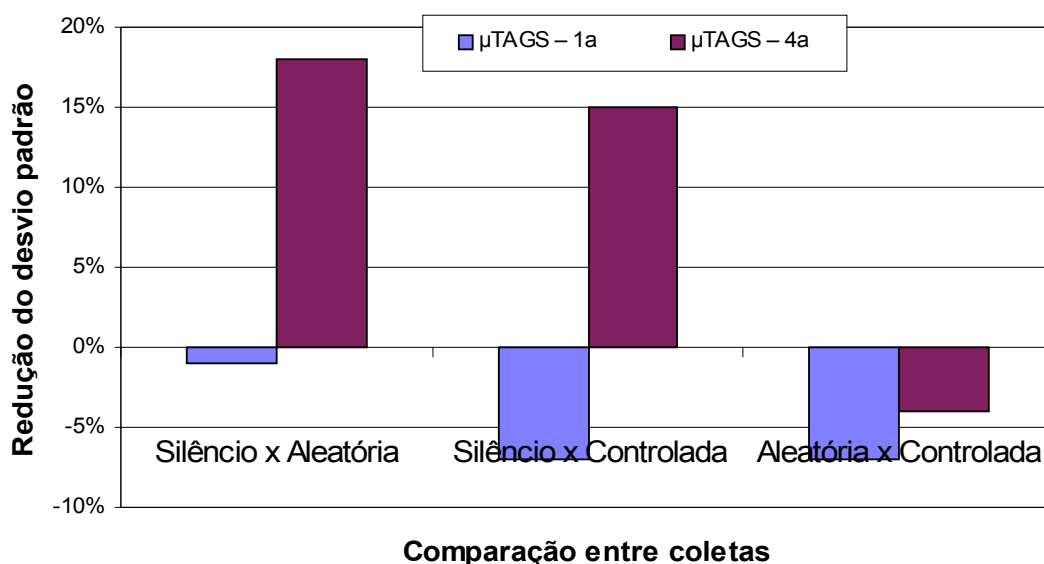
Verificamos para a média de número de erros reais (Figura 62) na condição de coleta aleatória, quando comparada com a coleta em silêncio, apresentou uma redução do desvio padrão de 36% na 1ª sequência chegando a 43% na 4ª sequência. A condição controlada, quando comparando com a condição silêncio, apresentou um aumento de 43% no desvio padrão na 1ª sequência sendo reduzida para 26% na 4ª sequência. A condição controlada, quando comparada com a condição aleatória, apresentou um aumento de 124% na 1ª sequência sendo reduzida para 30% na 4ª sequência.



**Figura 62: Redução da média do número de erros reais entre condições**

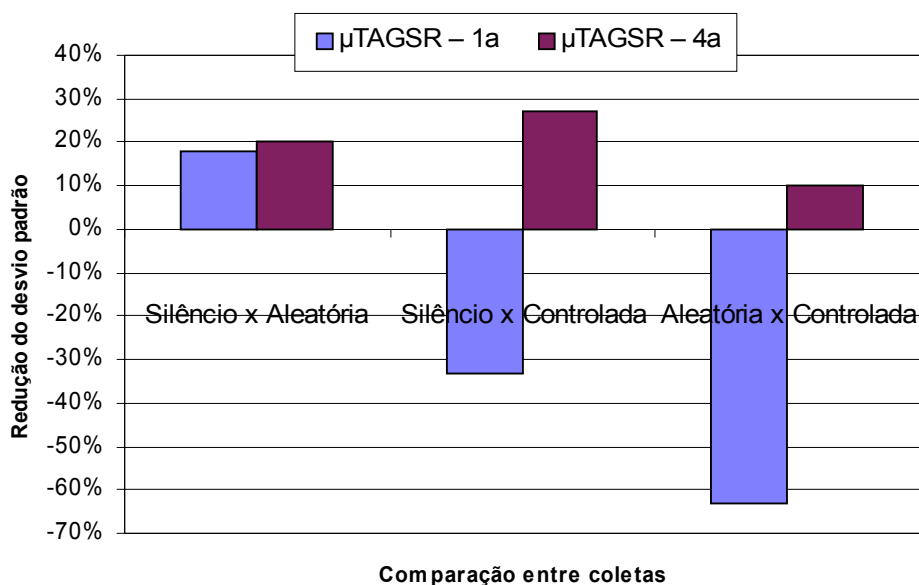
Verificamos para a média do tempo de agregação sequencial (Figura 63) na condição de coleta aleatória, quando comparada com a coleta em silêncio, apresentou um aumento do desvio padrão de 1% na 1ª sequência sendo reduzida para 18% na 4ª

seqüência. A condição controlada, quando comparando com a condição silêncio, apresentou um aumento de 7% no desvio padrão na 1ª seqüência sendo reduzida para 15% na 4ª seqüência. A condição controlada, quando comparada com a condição aleatória, apresentou um aumento de 7% na 1ª seqüência sendo reduzida em 6 pontos ficando em 4% na 4ª seqüência.



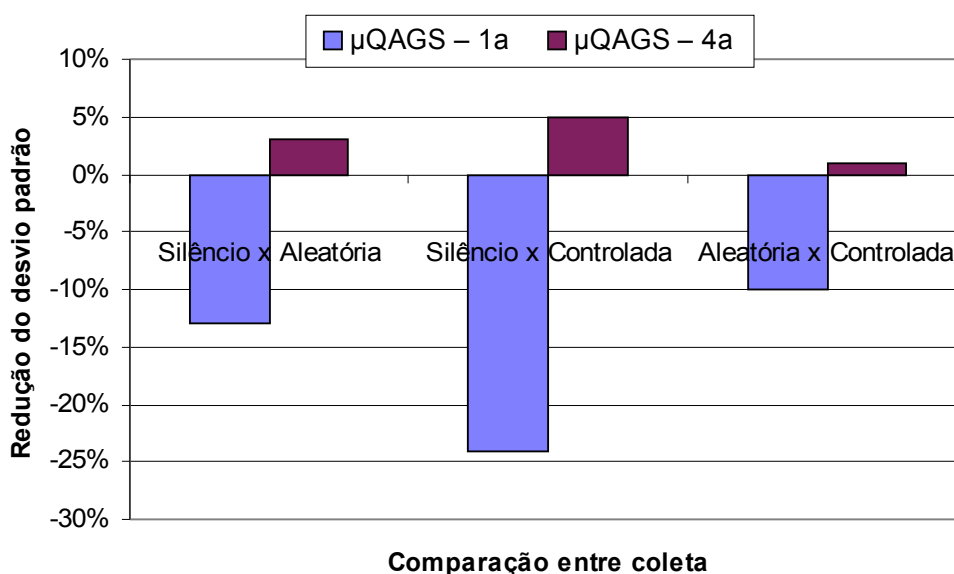
**Figura 63: Redução da média do tempo de agregação seqüencial entre condições**

Verificamos para a média do tempo de agregação seqüencial real (Figura 64) na condição de coleta aleatória, quando comparada com a coleta em silêncio, apresentou uma redução do desvio padrão de 18% na 1ª seqüência chegando a 20% na 4ª seqüência. A condição controlada, quando comparando com a condição silêncio, apresentou um aumento de 33% no desvio padrão na 1ª seqüência sendo reduzida para 27% na 4ª seqüência. A condição controlada, quando comparada com a condição aleatória, apresentou um aumento de 63% na 1ª seqüência sendo reduzida para 10% na 4ª seqüência.



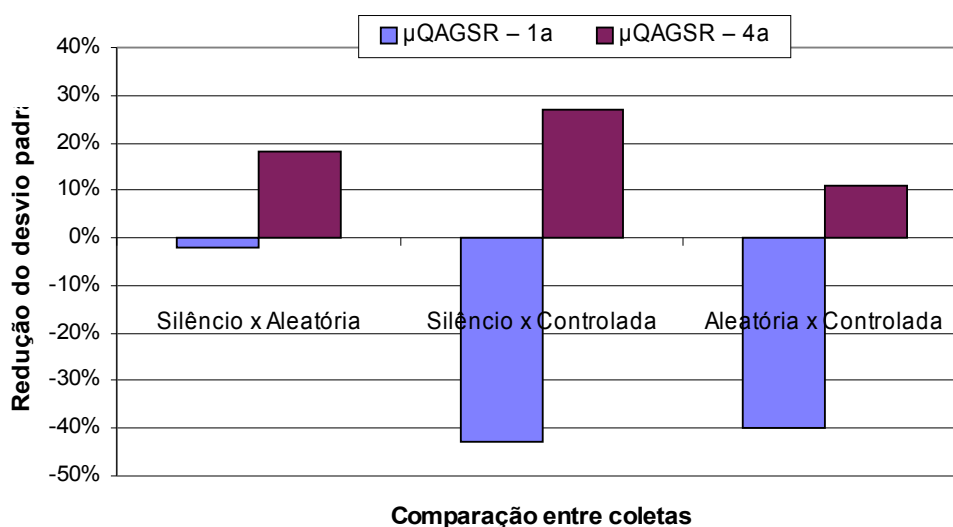
**Figura 64: Redução da média do tempo de agregação sequencial real entre condições**

Verificamos para a média da quantidade de agregações sequenciais (Figura 65) na condição de coleta aleatória, quando comparada com a coleta em silêncio, apresentou um aumento do desvio padrão de 13 % na 1ª seqüência sendo reduzida para 3% na 4ª seqüência. A condição controlada, quando comparando com a condição silêncio, apresentou um aumento de 24% no desvio padrão na 1ª seqüência sendo reduzida para 5% na 4ª seqüência. A condição controlada, quando comparada com a condição aleatória, apresentou um aumento de 10% na 1ª seqüência sendo reduzida para 1% na 4ª seqüência.



**Figura 65: Redução da média do número de tentativas de agregação sequencial entre condições**

Verificamos para a média da quantidade de agregações sequenciais reais (Figura 66) na condição de coleta aleatória, quando comparada com a coleta em silêncio, apresentou um aumento do desvio padrão de 2% na 1ª sequência sendo reduzida para 18% na 4ª sequência. A condição controlada, quando comparada com a condição silêncio, apresentou um aumento de 43% no desvio padrão na 1ª sequência sendo reduzida para 27% na 4ª sequência. A condição controlada, quando comparada com a condição aleatória, apresentou um aumento de 40% na 1ª sequência sendo reduzida para 11% na 4ª sequência.



**Figura 66: Redução da média do número de tentativas de agregação sequencial real entre condições**

Nas comparações apresentadas entre as condições (Tabela 3), referente a 1ª e 4ª sequência, a condição de coleta aleatória apresentou redução do desvio padrão em onze casos, quando comparada com a condição silêncio, quatro casos pertenciam a comparações na 1ª sequência. A condição controlada apresentou sete casos de redução do desvio padrão quando comparada à condição silêncio onde um dos casos pertencia a 1ª sequência. Quando comparamos a condição controlada em relação à coleta aleatória, tivemos quatro casos de redução do desvio padrão onde todos pertenciam a 4ª sequência. Consideremos o sistema proposto devidamente treinado a partir da 3ª sequência.

## 6.6.2 Análise Inferencial

No tópico anterior, quando falamos da análise descritiva, observamos algumas diferenças entre os valores encontrados, contudo, precisamos analisar se essas diferenças entre os valores das amostras são realmente significativas, permitindo generalizar em termos populacionais. A Estatística Inferencial possui um conjunto de técnicas no sentido de estabelecer generalizações e transferência de conclusões para toda a população.

Devido à característica da amostra, analisamos através do **teste t-Student**<sup>3</sup> (duas amostras presumindo variâncias diferentes) com **nível de significância de 5%**, valor tipicamente utilizado pela comunidade científica. Em alguns casos, onde os resultados não se mostraram significativos a 5%, demonstramos com nível de significância de 10%, valor também utilizado e aceito em áreas onde há poucas pesquisas sobre o assunto. Neste teste, a hipótese nula ( $H_0$ ) supõe que as *diferenças entre as médias* são casuais, não indicando qualquer diferença populacional real. Caso a hipótese nula seja rejeitada, teremos a hipótese alternativa ( $H_a$ ) ou hipótese experimental corroborada, fortalecida. A partir das condições de coleta e da média das seqüências, iremos verificar se as diferenças entre as coletas são realmente significativas ou casuais. Para os nossos estudos, considerando a natureza de nossas hipóteses, utilizamos a hipótese experimental *unicaudal à direita*. O valor analisado, que registra a probabilidade de  $H_0$  ser a responsável pela diferença observada entre as médias ou valores ainda mais extremos, é chamado “Valor P Unicaudal”. Caso o Valor P seja menor que o nível de significância, caracteriza-se a rejeição de  $H_0$  e fortalecimento de  $H_a$ .

### 6.6.2.1 - Análise estatística – comparação entre a primeira e a última seqüência

O objetivo da comparação das médias da 1ª com a 4ª seqüência é certificar se as diferenças são significativas ou não.

---

<sup>3</sup> Para comparação de amostras cujos tamanhos são superiores a 30, é comum o uso do Teste Z por razões históricas de maior facilidade de cálculo. Como os cálculos são realizados atualmente por meio de computadores, tal simplificação não é mais justificada.

**Tabela 4: Comparativo entre a 1ª e a 4ª seqüência – Valor P Unicaudal**

| CONDIÇÃO          | D         | NTt       | $\mu$ Lt | NER | TAgs | TAgsSR | NTtAgS | NTtAgSR |
|-------------------|-----------|-----------|----------|-----|------|--------|--------|---------|
| <b>Silêncio</b>   | 33%       | 20%       | 32%      | 35% | 37%  | 25%    | 42%    | 24%     |
| <b>Aleatória</b>  | 48%       | 30%       | 27%      | 14% | 49%  | 29%    | 42%    | 32%     |
| <b>Controlada</b> | <b>7%</b> | <b>1%</b> | 33%      | 38% | 24%  | 47%    | 27%    | 50%     |

**Tabela 5: Duração da aquisição da seqüência da coleta em silêncio**

|                          | 1ª     | 4ª     |
|--------------------------|--------|--------|
| <b>Média</b>             | 1631   | 1680   |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 461,48 | 389,85 |
| <b>Observações</b>       | 31     | 31     |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 33%    |        |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 5), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 6: Duração da aquisição da seqüência da coleta aleatória**

|                          | 1ª     | 4ª     |
|--------------------------|--------|--------|
| <b>Média</b>             | 1563   | 1558   |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 358,54 | 324,84 |
| <b>Observações</b>       | 31     | 31     |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 48%    |        |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 6), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 7: Duração da aquisição da seqüência da coleta controlada**

|                          | 1ª        | 4ª     |
|--------------------------|-----------|--------|
| <b>Média</b>             | 1737      | 1571   |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 512,40    | 415,20 |
| <b>Observações</b>       | 34        | 34     |
| <b>Valor P unicaudal</b> | <b>7%</b> |        |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 7), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais,

quanto à duração da aquisição da seqüência, deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional. Observe, entretanto, que, para nível de significância igual a 10%, já estamos diante de uma diferença significativa, ou seja, uma diferença amostral que indica diferença populacional verdadeira, onde a **diferença das médias deve-se à interferência do controle inteligente de estilos musicais (sistema proposto)**.

**Tabela 8: N° de tentativas para aquisição da seqüência da coleta em silêncio**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 96             | 99             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 17,01          | 15,57          |
| <b>Observações</b>       | 31             | 31             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 20%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 8), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 9: N° de tentativas para aquisição da seqüência da coleta aleatória**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 98             | 95             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 19,04          | 15,98          |
| <b>Observações</b>       | 31             | 31             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 30%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 9), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 10: N° de tentativas para aquisição da seqüência da coleta controlada**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 109            | 96             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 26,31          | 17,70          |
| <b>Observações</b>       | 34             | 34             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 1%             |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 10), é menor que o nível de significância, podemos rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se

estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais, quanto ao número de tentativas para a aquisição da sequência (NTt), apresenta uma **diferença significativa**, ou seja, indica diferença populacional verdadeira, onde a **diferença das médias deve-se à interferência do controle inteligente de estilos musicais (sistema proposto)**.

**Tabela 11: Latência média de resposta aos estímulos da sequência da coleta em silêncio**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 3              | 3              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 0,54           | 0,54           |
| <b>Observações</b>       | 31             | 31             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 32%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 11), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 12: Latência média de resposta aos estímulos da sequência da coleta aleatória**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 3              | 3              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 0,44           | 0,48           |
| <b>Observações</b>       | 31             | 31             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 27%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 12), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 13: Latência média de resposta aos estímulos da sequência da coleta controlada**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 3              | 2              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 0,48           | 0,39           |
| <b>Observações</b>       | 34             | 34             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 33%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 13), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se

estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 14: Número de erros reais da coleta em silêncio**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 7              | 8              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 5,09           | 6,34           |
| <b>Observações</b>       | 31             | 31             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 35%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 14), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 15: Número de erros reais da coleta aleatória**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 5              | 6              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 3,25           | 3,60           |
| <b>Observações</b>       | 31             | 31             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 14%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 15), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 16: Número de erros reais da coleta controlada**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 8              | 7              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 7,29           | 4,70           |
| <b>Observações</b>       | 34             | 34             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 38%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 16), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 17: Tempo de agregação sequencial da coleta em silêncio**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 75,89          | 80,07          |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 29,68          | 41,11          |
| <b>Observações</b>       | 16,00          | 16,00          |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 37%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 17), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 18: Tempo de agregação seqüencial da coleta aleatória**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 73,34          | 72,95          |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 29,84          | 33,77          |
| <b>Observações</b>       | 16,00          | 16,00          |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 49%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 18), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 19: Tempo de agregação seqüencial da coleta controlada**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 83,74          | 75,29          |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 31,81          | 35,03          |
| <b>Observações</b>       | 16,00          | 16,00          |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 24%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 19), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 20: Tempo de agregação seqüencial real da coleta em silêncio**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 144,61         | 178,85         |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 113,96         | 168,99         |
| <b>Observações</b>       | 16,00          | 16,00          |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 25%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 20), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 21: Tempo de agregação seqüencial real da coleta aleatória**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 111,01         | 134,09         |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 93,16          | 135,87         |
| <b>Observações</b>       | 16,00          | 16,00          |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 29%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 21), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 22: Tempo de agregação seqüencial real da coleta controlada**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 148,16         | 152,42         |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 151,80         | 122,81         |
| <b>Observações</b>       | 16,00          | 16,00          |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 47%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 22), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 23: Número de tentativas de agregação seqüencial da coleta em silêncio**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 5,24           | 5,44           |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 2,69           | 2,92           |
| <b>Observações</b>       | 16,00          | 16,00          |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 42%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 23), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se

estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 24: Número de tentativas de agregação seqüencial da coleta aleatória**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 5,48           | 5,25           |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 3,04           | 2,82           |
| <b>Observações</b>       | 16,00          | 16,00          |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 42%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 24), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 25: Número de tentativas de agregação seqüencial da coleta controlada**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 5,94           | 5,26           |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 3,34           | 2,79           |
| <b>Observações</b>       | 16,00          | 16,00          |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 27%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 25), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 26: Número de tentativas de agregação seqüencial real da coleta em silêncio**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 7,64           | 9,84           |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 6,66           | 10,38          |
| <b>Observações</b>       | 16,00          | 16,00          |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 24%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 26), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 27: Número de tentativas de agregação seqüencial real da coleta aleatória**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 6,72           | 8,04           |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 6,79           | 8,54           |
| <b>Observações</b>       | 16,00          | 16,00          |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 32%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 27), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 28: Número de tentativas de agregação seqüencial real da coleta controlada**

|                          | 1 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|--------------------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>             | 8,36           | 8,34           |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 9,53           | 7,60           |
| <b>Observações</b>       | 16,00          | 16,00          |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 50%            |                |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 28), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

#### 6.6.2.2 - Análise estatística – comparação entre as condições de coleta em silêncio, aleatória e controlada

O objetivo da comparação entre as condições é certificar se as diferenças são significativas ou não, levando em consideração que durante as primeiras seqüências o sistema proposto ainda não está devidamente treinada, podendo tomar decisões inadequadas.

O sinal de “\*” indica a diferença significativa favorável à primeira das condições. Na primeira linha da Tabela 29 na comparação entre condição de coleta aleatória versus controlada, temos uma diferença significativa onde a condição de coleta aleatória teve valores menores que a condição controlada. Nos casos onde não houver o sinal “\*” o

resultado significativamente menor se refere à segunda condição de coleta indicada no cabeçalho da tabela.

**Tabela 29: Comparativo entre condições de coleta – Valor P Unicaudal**

| <b>CONDIÇÃO</b>               | <b>Silêncio<br/>x<br/>Aleatório</b> | <b>Silêncio<br/>x<br/>Controlada</b> | <b>Aleatória x<br/>Controlada</b> |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| $\mu D - 1^a$ Seqüência       | 26%                                 | 19%                                  | <b>6% *</b>                       |
| $\mu D - 4^a$ Seqüência       | <b>9%</b>                           | 17%                                  | 45%                               |
| $\mu NTt - 1^a$ Seqüência     | 36%                                 | <b>1% *</b>                          | <b>2% *</b>                       |
| $\mu NTt - 4^a$ Seqüência     | 16%                                 | 23%                                  | 41%                               |
| $\mu Lt\mu - 1^a$ Seqüência   | 35%                                 | 31%                                  | 46%                               |
| $\mu Lt\mu - 4^a$ Seqüência   | 37%                                 | <b>7%</b>                            | 12%                               |
| $\mu NER - 1^a$ Seqüência     | <b>4%</b>                           | 37%                                  | <b>4% *</b>                       |
| $\mu NER - 4^a$ Seqüência     | 12%                                 | 36%                                  | 15%                               |
| $\mu TAgS - 1^a$ Seqüência    | 40%                                 | 24%                                  | 17%                               |
| $\mu TAgS - 4^a$ Seqüência    | 30%                                 | 36%                                  | 42%                               |
| $\mu TAgSR - 1^a$ Seqüência   | 18%                                 | 47%                                  | 21%                               |
| $\mu TAgSR - 4^a$ Seqüência   | 21%                                 | 31%                                  | 35%                               |
| $\mu NTtAgS - 1^a$ Seqüência  | 41%                                 | 26%                                  | 34%                               |
| $\mu NTtAgS - 4^a$ Seqüência  | 43%                                 | 43%                                  | 50%                               |
| $\mu NTtAgSR - 1^a$ Seqüência | 35%                                 | 40%                                  | 29%                               |
| $\mu NTtAgSR - 4^a$ Seqüência | 30%                                 | 32%                                  | 46%                               |

**Tabela 30: Duração de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a aleatória**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Aleatória</b> |
|--------------------------|-----------------|------------------|
| <b>Média</b>             | 1631,35         | 1562,81          |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 461,48          | 358,54           |
| <b>Observações</b>       | 31              | 31               |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 26%             |                  |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                  |
| <b>Média</b>             | 1680,39         | 1558,42          |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 389,85          | 324,84           |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 9%              |                  |

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 30 - 1ª seqüência), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença

das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

A Tabela 30 - 4ª seqüência, apresenta o Valor P maior que o nível de significância, não podendo rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais, deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional. Observe, entretanto, que, para nível de significância igual a 10%, já estamos diante de uma diferença significativa, ou seja, uma diferença amostral que indica diferença populacional verdadeira, onde a **diferença das médias deve-se à interferência do controle aleatório de estilos musicais.**

**Tabela 31: Número de tentativas de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a aleatória**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Aleatória</b> |
|--------------------------|-----------------|------------------|
| <b>Média</b>             | 95,94           | 97,65            |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 17,01           | 19,04            |
| <b>Observações</b>       | 31              | 31               |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 36%             |                  |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                  |
| <b>Média</b>             | 99,35           | 95,26            |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 15,57           | 15,98            |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 16%             |                  |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 31), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 32: Latência média de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a aleatória**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Aleatória</b> |
|--------------------------|-----------------|------------------|
| <b>Média</b>             | 2,58            | 2,53             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 0,54            | 0,44             |
| <b>Observações</b>       | 31              | 31               |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 35%             |                  |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                  |

|                          |      |      |
|--------------------------|------|------|
| <b>Média</b>             | 0,54 | 0,48 |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 0,29 | 0,23 |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 37%  |      |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 32), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 33: Número de erros reais de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a aleatória**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Aleatória</b> |
|--------------------------|-----------------|------------------|
| <b>Média</b>             | 7,35            | 5,39             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 5,09            | 3,25             |
| <b>Observações</b>       | 31              | 31               |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 4%              |                  |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                  |
| <b>Média</b>             | 7,94            | 6,35             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 6,34            | 3,60             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 12%             |                  |

A Tabela 33 - 1ª seqüência, apresenta o Valor P menor que o nível de significância, podendo rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais é significativa, ou seja, uma diferença amostral que indica diferença populacional verdadeira, onde a **diferença das médias deve-se à interferência do controle aleatório de estilos musicais.**

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 33 - 4ª seqüência), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 34: Tempo de agregação sequencial de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a aleatória**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Aleatória</b> |
|--------------------------|-----------------|------------------|
| <b>Média</b>             | 75,89           | 73,34            |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 29,68           | 29,84            |
| <b>Observações</b>       | 16,00           | 16,00            |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 40%             |                  |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                  |
| <b>Média</b>             | 80,07           | 72,95            |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 41,11           | 33,77            |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 30%             |                  |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 34), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 35: Tempo de agregação sequencial real de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a aleatória**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Aleatória</b> |
|--------------------------|-----------------|------------------|
| <b>Média</b>             | 144,61          | 111,01           |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 113,96          | 93,16            |
| <b>Observações</b>       | 16,00           | 16,00            |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 18%             |                  |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                  |
| <b>Média</b>             | 178,85          | 134,09           |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 168,99          | 135,87           |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 21%             |                  |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 35), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 36: Número de tentativas de agregação sequencial de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a aleatória**

| <b>1ª Seqüência</b>  | <b>Silêncio</b> | <b>Aleatória</b> |
|----------------------|-----------------|------------------|
| <b>Média</b>         | 5,24            | 5,48             |
| <b>Desvio Padrão</b> | 2,69            | 3,04             |

|                          |       |       |
|--------------------------|-------|-------|
| <b>Observações</b>       | 16,00 | 16,00 |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 41%   |       |
| <b>4ª Seqüência</b>      |       |       |
| <b>Média</b>             | 5,44  | 5,25  |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 2,92  | 2,82  |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 43%   |       |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 36), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 37: Número de tentativas de agregação seqüencial real de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a aleatória**

|                          |                 |                  |
|--------------------------|-----------------|------------------|
| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Aleatória</b> |
| <b>Média</b>             | 7,64            | 6,72             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 6,66            | 6,79             |
| <b>Observações</b>       | 16,00           | 16,00            |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 35%             |                  |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                  |
| <b>Média</b>             | 9,84            | 8,04             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 10,38           | 8,54             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 30%             |                  |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 37), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 38: Duração de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a controlada**

|                          |                 |                   |
|--------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Controlada</b> |
| <b>Média</b>             | 1631,35         | 1737,06           |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 461,48          | 512,40            |
| <b>Observações</b>       | 31              | 34                |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 19%             |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                   |
| <b>Média</b>             | 1680,39         | 1570,88           |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 389,85          | 415,20            |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 14%             |                   |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 38), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 39: Número de tentativas de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Controlada</b> |
|--------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>Média</b>             | 95,94           | 109,09            |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 17,01           | 26,31             |
| <b>Observações</b>       | 31              | 34                |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 1%              |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                   |
| <b>Média</b>             | 99,35           | 96,26             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 15,57           | 17,70             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 23%             |                   |

A Tabela 39 - 1ª seqüência, apresenta o Valor P menor que o nível de significância, podendo rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais é significativa, ou seja, uma diferença amostral que indica diferença populacional verdadeira, onde a **diferença das médias deve-se à condição de silêncio**.

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 39 - 4ª seqüência), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 40: Latência média de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Controlada</b> |
|--------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>Média</b>             | 2,58            | 2,52              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 0,54            | 0,48              |
| <b>Observações</b>       | 31              | 34                |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 31%             |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                   |

|                          |           |      |
|--------------------------|-----------|------|
| <b>Média</b>             | 2,64      | 2,47 |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 0,54      | 0,39 |
| <b>Valor P unicaudal</b> | <b>7%</b> |      |

Como o Valor P, nestas situações (Tabela 40 - 1ª seqüência), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

A Tabela 40 - 4ª seqüência, apresenta o Valor P maior que o nível de significância, não podendo rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais, deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional. Observe, entretanto, que, para nível de significância igual a 10%, já estamos diante de uma diferença significativa, ou seja, uma diferença amostral que indica diferença populacional verdadeira, onde a **diferença das médias deve-se à interferência do controle inteligente de estilos musicais (sistema proposto)**.

**Tabela 41: Número de erros reais de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Controlada</b> |
|--------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>Média</b>             | 7,35            | 7,88              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 5,09            | 7,29              |
| <b>Observações</b>       | 31              | 34                |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 37%             |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                   |
| <b>Média</b>             | 7,94            | 7,44              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 6,34            | 4,70              |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 36%             |                   |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 41), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças

das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 42: Tempo de agregação seqüencial de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Controlada</b> |
|--------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>Média</b>             | 75,89           | 83,74             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 29,68           | 31,81             |
| <b>Observações</b>       | 16,00           | 16,00             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 24%             |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                   |
| <b>Média</b>             | 80,07           | 75,29             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 41,11           | 35,03             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 36%             |                   |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 42), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 43: Tempo de agregação seqüencial real de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Controlada</b> |
|--------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>Média</b>             | 144,61          | 148,16            |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 113,96          | 151,80            |
| <b>Observações</b>       | 16,00           | 16,00             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 47%             |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                   |
| <b>Média</b>             | 178,85          | 152,42            |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 168,99          | 122,81            |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 31%             |                   |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 43), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 44: Número de tentativas de agregação seqüencial de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Controlada</b> |
|--------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>Média</b>             | 5,24            | 5,94              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 2,69            | 3,34              |
| <b>Observações</b>       | 16,00           | 16,00             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 26%             |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                   |
| <b>Média</b>             | 5,44            | 5,26              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 2,92            | 2,79              |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 43%             |                   |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 44), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 45: Número de tentativas de agregação seqüencial real de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em silêncio e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Silêncio</b> | <b>Controlada</b> |
|--------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>Média</b>             | 7,64            | 8,36              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 6,66            | 9,53              |
| <b>Observações</b>       | 16,00           | 16,00             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 40%             |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                 |                   |
| <b>Média</b>             | 9,84            | 8,34              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 10,38           | 7,60              |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 32%             |                   |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 45), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 46: Duração de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em aleatória e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b> | <b>Aleatória</b> | <b>Controlada</b> |
|---------------------|------------------|-------------------|
| <b>Média</b>        | 1562,81          | 1737,06           |

|                          |           |         |
|--------------------------|-----------|---------|
| <b>Desvio Padrão</b>     | 358,54    | 512,40  |
| <b>Observações</b>       | 31        | 34      |
| <b>Valor P unicaudal</b> | <b>6%</b> |         |
| <b>4ª Seqüência</b>      |           |         |
| <b>Média</b>             | 1558,42   | 1570,88 |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 324,84    | 415,20  |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 45%       |         |

A Tabela 46 - 1ª seqüência, apresenta o Valor P maior que o nível de significância, não podendo rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais, deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional. Observe, entretanto, que, para nível de significância igual a 10%, já estamos diante de uma diferença significativa, ou seja, uma diferença amostral que indica diferença populacional verdadeira, onde a **diferença das médias deve-se à interferência do controle aleatório de estilos musicais**.

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 46 - 4ª seqüência), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 47: Número de tentativas de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em aleatória e a controlada**

|                          |                  |                   |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Aleatória</b> | <b>Controlada</b> |
| <b>Média</b>             | 97,65            | 109,09            |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 19,04            | 26,31             |
| <b>Observações</b>       | 31               | 34                |
| <b>Valor P unicaudal</b> | <b>2%</b>        |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                  |                   |
| <b>Média</b>             | 95,26            | 96,26             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 15,98            | 17,70             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 41%              |                   |

A Tabela 47 - 1ª seqüência, apresenta o Valor P menor que o nível de significância, podendo rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais é

significativa, ou seja, uma diferença amostral que indica diferença populacional verdadeira, onde a **diferença das médias deve-se à interferência do controle aleatório de estilos musicais**.

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 47 - 4ª seqüência), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 48: Latência média de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em aleatória e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Aleatória</b> | <b>Controlada</b> |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| <b>Média</b>             | 2,53             | 2,52              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 0,44             | 0,48              |
| <b>Observações</b>       | 31               | 34                |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 46%              |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                  |                   |
| <b>Média</b>             | 2,60             | 2,47              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 0,48             | 0,39              |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 12%              |                   |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 48), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 49: Número de erros reais de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em aleatória e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Aleatória</b> | <b>Controlada</b> |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| <b>Média</b>             | 5,39             | 7,88              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 3,25             | 7,29              |
| <b>Observações</b>       | 31               | 34                |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 4%               |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                  |                   |
| <b>Média</b>             | 6,35             | 7,44              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 3,60             | 4,70              |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 15%              |                   |

A Tabela 49 - 1ª seqüência, apresenta o Valor P menor que o nível de significância, podendo rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais é significativa, ou seja, uma diferença amostral que indica diferença populacional verdadeira, onde a **diferença das médias deve-se à interferência do controle aleatório de estilos musicais.**

Como o Valor P, nesta situação (Tabela 49 - 4ª seqüência), é maior que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que a diferença das médias amostrais deve ser considerada casual, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 50: Tempo de agregação seqüencial de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em aleatória e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Aleatória</b> | <b>Controlada</b> |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| <b>Média</b>             | 73,34            | 83,74             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 29,84            | 31,81             |
| <b>Observações</b>       | 16               | 16                |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 17%              |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                  |                   |
| <b>Média</b>             | 72,95            | 75,29             |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 33,77            | 35,03             |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 42%              |                   |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 50), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 51: Tempo de agregação seqüencial real de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em aleatória e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>  | <b>Aleatória</b> | <b>Controlada</b> |
|----------------------|------------------|-------------------|
| <b>Média</b>         | 111,01           | 148,16            |
| <b>Desvio Padrão</b> | 93,16            | 151,80            |

|                          |        |        |
|--------------------------|--------|--------|
| <b>Observações</b>       | 16     | 16     |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 21%    |        |
| <b>4ª Seqüência</b>      |        |        |
| <b>Média</b>             | 134,09 | 152,42 |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 135,87 | 122,81 |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 35%    |        |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 51), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 52: Número de tentativas de agregação seqüencial de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em aleatória e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Aleatória</b> | <b>Controlada</b> |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| <b>Média</b>             | 5,48             | 5,94              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 3,04             | 3,34              |
| <b>Observações</b>       | 16               | 16                |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 34%              |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                  |                   |
| <b>Média</b>             | 5,25             | 5,26              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 2,82             | 2,79              |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 50%              |                   |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 52), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

**Tabela 53: Número de tentativas de agregação seqüencial real de resposta aos estímulos da seqüência entre a coleta em aleatória e a controlada**

| <b>1ª Seqüência</b>      | <b>Aleatória</b> | <b>Controlada</b> |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| <b>Média</b>             | 6,72             | 8,36              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 6,79             | 9,53              |
| <b>Observações</b>       | 16               | 16                |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 29%              |                   |
| <b>4ª Seqüência</b>      |                  |                   |
| <b>Média</b>             | 8,04             | 8,34              |
| <b>Desvio Padrão</b>     | 8,54             | 7,60              |
| <b>Valor P unicaudal</b> | 46%              |                   |

Como os Valores Ps, nestas situações (Tabela 53), são maiores que o nível de significância, não se pode rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa. Portanto, conclui-se estatisticamente, com nível de significância de 5%, que as diferenças das médias amostrais devem ser consideradas casuais, não implicando em diferença populacional.

## 6.7 Conclusão

Dos experimentos realizados, notamos, portanto, significância de 5% apenas quanto ao número de tentativas para a aquisição da seqüência (NTt) e significância de 10% para a duração da aquisição da seqüência (D) comparando a primeira seqüência versus a quarta seqüência.

Analizamos as relações **entre as condições** de coleta e constatamos uma **redução na latência média de resposta aos estímulos da seqüência** ( $\mu Lt$ ) na **coleta controlada** (sistema proposto) quando comparada à coleta em silêncio durante a quarta seqüência. Comparando a duração da aquisição da seqüência(D) e o número de erros reais entre a coleta em silêncio e coleta aleatória, obtivemos significância de 10%.

Outros valores significativos foram verificados quando envolviam a coleta controlada, mas estes apareceram durante as primeiras seqüências, período este onde consideramos o sistema proposto inapto a tomar decisões. Tais valores foram encontrados na condição silêncio quando comparada com a condição controlada apresentando, significância de 5% no número de tentativas. Na condição aleatória quando comparada à condição controlada apresentou, significância de 5% para o número de tentativas e para o número de erros reais e significância de 10% para a média de duração da seqüência na todos referentes à primeira seqüência.

A partir da terceira seqüência o sistema proposto pode ser considerado apto a tomar decisões, sendo a quarta seqüência a mais apropriada.

Os resultados mostram que **o sistema proposto é capaz de controlar estilos musicais em uma tarefa de *Aprendizado por Reforço* de modo a melhorar algumas medidas.**

## Capítulo 7: Conclusão

*"O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano".*  
Isaac Newton

### 7.1 Introdução

Neste trabalho, desenvolvemos um sistema que mapeou topologicamente estilos musicais servindo como base para um sistema inteligente de controle de estilos musicais baseado em *Aprendizado por Reforço*. O trabalho utilizou uma tarefa da Psicologia chamada “encadeamento” ou “chain”, norteador uma comparação dos dados coletados de forma consistente e segura quanto às medidas observadas. O mapa topológico de estilos musicais pode ser avaliado através da precisão do mapa e qualidade topológica estudados no Capítulo 4, assim como resultados estatísticos comprovaram o funcionamento do sistema inteligente, controlando os estilos musicais baseado em *Aprendizado por Reforço*.

Para chegar aos resultados obtidos, inicialmente desenvolvemos um sistema para mapear topologicamente nove estilos musicais, cada um com sua velocidade característica (BPM), tomando como base as batidas de uma bateria acústica (chimbau, caixa, bumbo e prato de condução). Este sistema estabeleceu a ordem topológica entre os estilos, formando um anel e explicitando quais estilos musicais estavam mais próximos dos outros.

A tarefa de encadeamento de figuras com base em *Aprendizado por Reforço*, fornecida pela Psicologia, foi a base para a coleta dos dados, fornecendo-nos medidas como: **duração da aquisição da sequência (D), número de tentativas para a aquisição**

da sequência (NTt), latência média de resposta aos estímulos da sequência ( $\mu$ Lt), número de erros reais (NER), tempo de agregação sequencial (TAgS), tempo de agregação sequencial real (TAgSR), número de tentativas de agregação sequencial (NTtAgS) e número de tentativas de agregação sequencial real (NTtAgSR). Grupos de pessoas foram submetidos a três situações diferentes durante a tarefa de encadeamento de figuras, sendo: 31 pessoas em silêncio; 31 pessoas na situação de fundo musical aleatório; e 34 pessoas na situação de fundo musical controlado pelo sistema proposto. A cada 30 segundos, o estilo musical era substituído por outro (dentre os nove estilos possíveis ou de acordo com o tipo da tarefa). Todos os grupos realizaram quatro sequências de 16 (dezesseis) figuras cada, sendo que as mesmas 16 (dezesseis) figuras compunham as quatro sequências e cada sequência, obviamente, possuía uma ordem diferente. Todos os participantes (96, no total) foram submetidos às mesmas quatro sequências e na mesma ordem. A única diferença entre os grupos foram as condições de silêncio, música aleatória e música controlada.

A análise dos resultados, com base na Estatística Descritiva, demonstrou a aplicabilidade das redes neurais no controle de estilos musicais em atividade de *Aprendizado por Reforço*. O **sistema proposto** ofereceu vantagens conseguindo **reduzir o desvio padrão** durante a **coleta controlada** inteligentemente.

Com base na Estatística Inferencial, o **sistema proposto** ofereceu vantagens comparando a primeira com a última sequência **reduzindo**, durante a **coleta controlada inteligentemente**, o **número de tentativas para a aquisição da sequência (NTt)** a um nível de significância de 5%. A **duração da aquisição da sequência (D)** apresentou, a um nível de significância de 10% (valor também utilizado e aceito em áreas onde existem poucas pesquisas sobre o assunto), **diminuição** da medida quando da **coleta controlada** inteligentemente. Ainda com um nível de significância de 10% podemos afirmar que a **latência média de resposta aos estímulos da sequência ( $\mu$ Lt)** foi **reduzida** pela coleta

controlada inteligentemente quando comparada com a coleta em silêncio analisando a última seqüência.

## 7.2 Confronto hipóteses e resultados

Confrontamos, agora, as hipóteses previstas com os resultados obtidos para verificar se os dados corroboram ou não o esperado.

### Hipótese principal:

- O controle inteligente de estilos musicais, baseado no sistema proposto neste trabalho (*Aprendizado por Reforço* combinado a mapeamento topológico de Kohonen), é mais eficiente que a execução aleatória e a ausência de fundo musical (silenciosa).

Com a utilização da Estatística Inferencial, comprovamos que o controle inteligente de estilos musicais, baseado no sistema proposto neste trabalho, é mais eficiente que a execução aleatória e a ausência de fundo musical (silenciosa), pois **reduziu a variabilidade intrínseca**, conferindo maior estabilidade ao processo, além de **reduzir** significativamente o **número de tentativas para a aquisição da seqüência** (NTt), na sessão experimental.

### Hipótese secundária:

- O controle inteligente dos estilos musicais, na tarefa proposta, reduz a **duração da aquisição da seqüência** (D em segundos), **número de tentativas para a aquisição da seqüência** (NTt), **latência média de resposta ao estímulos da seqüência** ( $\mu$ Lt, em segundos), **número de erros reais** (NER), **tempo de agregação seqüencial** (TAgS), **tempo de agregação seqüencial real** (TAgSR),

**número de tentativas de agregação seqüencial (NTtAgS) e número de tentativas de agregação seqüencial real (NTtAgSR).**

Com a utilização da Estatística Inferencial comprovamos que o controle inteligentemente de estilos musicais, baseado no sistema proposto neste trabalho, se mostrou mais eficiente que a execução aleatória e a ausência de fundo musical (silenciosa). Com um nível de significância de 10% comprovou-se a **redução da duração da aquisição da seqüência**. Com um nível de significância de 5% comprovou-se a **redução do número de tentativas para a aquisição da seqüência (NTt)**. Os resultados acima mencionados consideraram as **comparações da 1ª com a 4ª seqüência de cada coleta**.

O sistema proposto, com um nível de significância de 10%, **reduziu da latência média de resposta aos estímulos da seqüência**, quando **comparada à coleta em silêncio com a coleta controlada**.

Baseados nisto concluímos que **o sistema proposto foi o responsável pela diminuição do número de tentativas para a aquisição da seqüência (NTt), diminuição da duração da aquisição da seqüência (D) e a latência média de resposta aos estímulos da seqüência ( $\mu Lt$ )**.

### **7.3 Estudos futuros**

As coletas realizadas possibilitaram várias análises podendo servir para novas constatações permitindo melhorar ou alterar a estrutura do trabalho. A integração com sistemas tutores podem trazer novos horizontes, tanto para pesquisadores, quanto para estudantes em estudos aonde o sistema conduzirá o aluno a um melhor desempenho. A inclusão de harmonia e melodia através do baixo, piano e guitarra devem tornar a tarefa diferenciada para o aluno. Percebemos em alguns casos que o participante, ao final da tarefa, demonstrava vontade de retirar o som por um período, ou no decorrer de toda a

tarefa. Essa possibilidade é descartada neste trabalho. O controle do volume durante a tarefa pode trazer novas implicações e é objeto de estudos futuros.

Elaborar um sistema educacional não presencial dotado do controle de fundos musicais norteado pela Inteligência Artificial trará novos ganhos para participantes submetidos a esta técnica de ensino.

## 7.4 Principais contribuições

Dentre as principais contribuições, destacamos:

- Uso de tarefas rigorosamente estudadas na Psicologia no contexto de desenvolvimento e avaliação de sistemas tutores inteligentes.
- Multidisciplinaridade envolvendo a Psicologia e Inteligência Artificial (Informática).
- Importante ferramenta para aplicar a *Aprendizagem por Reforço* na tarefa de encadeamento.
- Validação do uso de medidas analítico-comportamentais como "ferramentas metodológicas" para o estudo do comportamento de máquinas.
- Possibilidade de implementação de recursos computacionais e de informática para o desenvolvimento de instrumentos de investigação e ensino em análise do comportamento.

## 7.5 Benefícios pessoais

Desde o momento em que resolvi fazer o Mestrado sabia que não seria uma tarefa fácil, mas o que eu não esperava era fazer disto tudo uma tarefa prazerosa. Amigos meus

contavam o quanto era difícil e realmente não é fácil. O quanto tempo deveria dedicar e realmente foram muitas horas. Ao final, compreendo tudo isso como crescimento pessoal.

Além das inovações, das respostas dos experimentos, das implementações das redes neurais e dos programas na tarefa de encadeamento, os resultados nos mostram o quanto é bom pesquisar, descobrindo novos horizontes dentre muitos a serem explorados. A leitura se tornou um prazer e ampliou as percepções tanto no plano mental como no material. Os ensinamentos passados pelo meu orientador, professor Ph.D. Weber Martins foram no mínimo fundamentais no âmbito acadêmico, profissional e principalmente no pessoal, ensinando-me a ser, dentre outras coisas, um ser humano reflexivo. Refletir sobre o comportamento das pessoas, a forma como elas agem diante de determinados estímulos, a busca por novos pontos de vista, novas comparações e conseqüentes resultados, foram contribuições valiosas passadas pelo meu co-orientador, Dr. Lauro Nalini.

## Referências Bibliográficas

- [ALEKSANDER 1989] ALEKSANDER, Igor. *Neural computing architectures: the design of brain-like machines*. London: The MIT press, 1989.
- [AMOR 2000] AMOR, Daniel. *A (R)evolução do E-Business*. São Paulo: Makron, 2000.
- [ARAUJO 2000] ÁRAUJO, Iamar Zuza de. *Controle de sinal fisiológico humano baseado em aprendizado por reforço – Uma abordagem competitiva*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação), UFG-GO, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação. Goiânia, 2000.
- [ASSIS 1987] ASSIS, G. *Comportamento de ordenação de humanos: uma análise experimental de algumas variáveis*. *Psicologia Teoria e Pesquisa*, 1987. 28, 3, 57-69.
- [AZEVEDO 2000] AZEVEDO, Fernando Mendes de, BRASIL, Lourdes Mattos, OLIVEIRA, Roberto Célio Limão de. *Redes neurais com aplicações em controle e em sistemas especialistas*. Florianópolis: Bookstore, 2000.
- [SRS&BAG 1998] SUTTON, R. S., BARTO, A. G. *Reinforcement Learning an Introduction*. The MIT press, Cambridge, Massachusetts, 1998.
- [BORGES&TODOROV 1989] BORGES, M. & TODOROV, J. C.. *Comportamento de ordenação de humanos nos procedimentos para-frente e para-trás*. *Psicologia Teoria e Pesquisa*, 1989. 30, 2, 182-194.
- [BARCELLOS 1992] BARCELLOS, Lia Rejane Mendes. *Caderno de Musicoterapia 1*, Rio de Janeiro, ENELIVROS, 1992.
- [BELLMAN 1957] BELLMAN, R.E. *Dynamic Programming*. Princeton University Press, Princeton, 1957.
- [BRAGA 2000] BRAGA, Antônio de Pádua et. al. *Redes neurais artificiais, teoria e aplicações*, Rio de Janeiro, LTC, 2000.
- [BRASILIANSE 2001] BRASILIANSE, Jornal Correio. 27 de novembro de 2001.

- [CARVALHO 2002]** CARVALHO, Sirlon Diniz de. *Mapas Auto-Organizáveis aplicados a sistemas tutores inteligentes*. Goiânia, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação), UFG-GO, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação.
- [CATANIA 1999a]** CATANIA, A. Charles. *Aprendizagem: Comportamento, Linguagem e Cognição*. Porto Alegre: Ed. Artmed, 1999.
- [CATANIA 1999b]** CATANIA, A. Charles. *Learning*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
- [COHEN 1995]** COHEN, Paul R. *Empirical methods for artificial intelligence*. Massachusetts: Ed. MIT, 1995.
- [COSTA 1998]** COSTA, Sérgio Francisco. *Introdução ilustrada à Estatística*. São Paulo, Ed. Harbra, 1998.
- [DEAN 1995]** DEAN, Thomas, ALLEN, James, Aloimonos, Yiannis. *Artificial intelligence, theory and practice*. Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
- [DENCKER 1998]** DENCKER, Ada de Freitas Maneti. *Métodos e Técnicas de pesquisa em turismo*. São Paulo: Futura, 1998.
- [ELETRÔNICO 1999]** ELETRÔNICO, Dicionário Aurélio, Século XXI, versão 3.0, Editora Nova Fronteira, Novembro de 1999.
- [FESTER&SKINNER 1957]** FESTER, C.B., and SKINNER, B.F. *Schedules of reinforcement*. New York: Appleton-Century-Crofts, 1957.
- [FREDRICKSON 1979]** FREDRICKSON, M. & OHMAN, A. *Cardiovascular and Electrodermal Responses Conditioned to Fear-Relevant Stimuli*, *Psychophysiology*, 18, 456-465. 1979
- [GOLDSTEIN 1999]** GOLDSTEIN, E.B. *Sensation and perception*. Brooks/Cole Publishing Company, Pacific Grove, California, USA. 5<sup>th</sup>, 1999.
- [HAGAN 1995]** HAGAN, Martin T, HOWARD, B. Demuth, BEALE, Mark, *Neural network design*. Ed. PWS, 1995.

- [HANDEL 1991] HANDEL, Stephen. *An Introduction to the Perception of Auditory Events*. Massachusetts, 1991.
- [HASSOUN 1995] HASSOUN, Mohamad H. *Fundamentals of Artificial Neural Networks*. Massachusetts: Ed. MIT, 1995.
- [HAYKIN 2002] HAYKIN, Simon. *Redes Neurais, princípios e prática*. 2.Ed. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2002.
- [HORTON 2000] HORTON, William. *Designing Web-Based Training*. New York: Wiley, 2000.
- [HURON 1992] HURON, David. *Design Principels in Computer-Based Music Representation –* 1992.
- [IVERSEN&LATTAL 1991] IVERSEN, Iver H., & LATTAL, Kennon A. *Techniques in the behavioral and Neural Sciences*.
- [JOURDAIN 1998] JOURDAIN, Robert. *Música, Cérebro e Êxtase, como a música captura nossa imaginação*, 1998.
- [KASABOV 1996] KASABOV, Nikola K. *Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering*, MIT, 1996.
- [KNIGHT 1993] Knight, Rich. *Inteligência artificial*, 2nd ed. - São Paulo: Makron Books, 1993.
- [KOHONEN 1989] KOHONEN, T. *Self-organization and Associative Memory*, 3rd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1989.
- [KOHONEN 1997] KOHONEN, T. *Self-Organizing Maps*, 2nd Edition, Finland: Springer, 1997.
- [LAKATOS 2001] LAKATOS, Eva Maria, MARCONI, Marina de Andrade. *Fundamentos de metodologia científica*. 4. Ed. São Paulo: Ed. Atlas, 2001.
- [LIKKEN 1971] LYKKEN D. T. & VERNABLES P. H. *Direct Measurement of Skin Conductance: A Proposal for Standardization*. *Psychophysiology*, 8, 656-672. 1971
- [MALOTT 1997] MALOTT, R. W., WHALEY, D. L., & MALOTT, M. E.. *Elementary principles of behavior* , 3thd edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997

- [**MARSDEN&POPLE 1992**] MARSDEN, Alan & POPLÉ, Anthony (eds.) *Computer Representations and Models in Music*. 1992.
- [**MEIRELES 2003**] MEIRELES, Viviane. *Sistemas tutores inteligentes híbridos baseados em estilos de aprendizagem*. Goiânia, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação), UFG-GO, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação.
- [**MELO 2003**] MELO, Francisco Ramos de. *Sistemas tutores híbridos baseados em características psicológicas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação), UFG-GO, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação. Goiânia, 2003.
- [**MCCULLOCH&PITTS 1943**] W.W. McCulloch and W. Pitts. *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*. Bulletin of Mathematical Biophysics, 1943.
- [**NARCIZO 2003**] NARCIZO, Paulo Henrique Dantas. *A Influência das cores em sistemas tutores inteligentes*. Goiânia, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação), UFG-GO, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação.
- [**NASCIMENTO 1995**] NASCIMENTO, Sandra Rocha do, *A Musicoterapia como facilitadora de um processo de aprendizagem*. Goiânia – Goiás - UFG, 1995.
- [**ROSS 1997**] ROSS, Timothy J. *Fuzzy logic with engineering applications*. Ed. McGraww-Hill, 1997.
- [**RUSSEL&NORVIG 1995**] RUSSELL, Stuart J., NORVIG, Peter. *Artificial Intelligence, a Modern Approach*. New Jersey: Prentice-Hall inc., 1995.
- [**VASCONCELOS 1995**] VASCONCELOS, Carmen Lúcia de, *O simbolismo do instrumento musical no processo musicoterápico*, Goiânia – Goiás – UFG, 1995.
- [**SKINNER 1938**] SKINNER, B. F. *The behavior, an introduction to comparative psychology*. New York: Appleton-Century, 1938.
- [**TSITSIKLIS 1994**] TSITSIKLIS, J. N. *Asynchronous Stochastic approximation and Q-Learning*. Machine Learning, 1994.
- [**WELSTEAD 1994**] WELSTEAD, Stephen T. *Neural network and fuzzy logic applications in C/C++*. Ed Hohn Wiley & Sons, 1994.

## **Anexo I: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**





## **Anexo II: Instruções para coleta**

## Prezado(a) participante,

Inicialmente, muito obrigado por ter aceito participar deste estudo. Como você verá, sua tarefa será muito simples. Concentre-se e leia atentamente o que está escrito abaixo para que você possa compreendê-la bem.

Este é um estudo sobre como as pessoas aprendem a ordenar objetos em sequência. Por exemplo, o abecedário (ou alfabeto) é uma sequência ordenada de letras. Na sua forma maiúscula, o escrevemos assim:

A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z.

A partir de determinado ponto da nossa alfabetização, aprendemos que a letra "A" é a primeira nesta sequência, que a letra "B" vem logo após a letra "A", que a letra "C" vem logo após a "B", que a "D" vem logo após a "C", e assim por diante, até a letra "Z", que é a última da sequência. Após aprendermos o alfabeto e nos tornarmos usuários dele, podemos dizê-lo facilmente, de uma vez só, sem parar. Quando chegamos a este ponto e nos pedem para dizer o alfabeto completo dizer "A" *traz* "B", dizer "B" *traz* "C", dizer "C" *traz* "D", e assim por diante, numa espécie de "cadeia" que só termina quando é dito "Z", a última letra. Como chegamos a aprender tais sequências ordenadas? Como foi dito, o presente estudo é sobre esse tipo de fenômeno.

Ao longo da sessão de aprendizagem, você será solicitado(a) a aprender quatro sequências diferentes, consecutivamente. Cada uma delas está definida por um arranjo ordenado de figuras. Portanto, a expressão "aprender uma sequência" significa aprender a colocar as figuras numa determinada ordem, ordem esta que você deverá descobrir. Nós consideraremos que você terá aprendido cada sequência quando conseguir montá-la por três vezes consecutivas sem cometer erros.

A seguir, você será instruído(a) sobre como deverá proceder para realizar a tarefa na prática, e ficará sabendo o que irá acontecer à medida em que for progredindo. Mais uma vez, obrigado pela colaboração.

## ORIENTAÇÕES PARA A TAREFA:

1. Leia as orientações abaixo atentamente, por completo, até o fim. **NÃO MANUSEIE O COMPUTADOR AGORA: VOCÊ SERÁ INFORMADO(A) SOBRE QUANDO IRÁ COMEÇAR A TRABALHAR COM ELE.** Quando você terminar a leitura, você terá oportunidade de esclarecer qualquer dúvida sobre a tarefa com o(a) monitor(a), caso julgue necessário.

2. *Há pouco você cedeu informações ao(à) monitor(a) para preenchimento de um cadastro como participante do projeto de pesquisa. Na tela do computador à sua frente você pode ver a seguinte imagem, porém com seus dados nos campos brancos:*

**O preenchimento de todos os campos é obrigatório !!!**

E-mail:

Nome:  Sexo:

Endereço:

Tel. residencial:

Tel. celular:

Data nascimento:  Escrita:

Profissão:

Nacionalidade:

Naturalidade:

Situação estudo:

Ritmo preferido:

Experiências musicais:

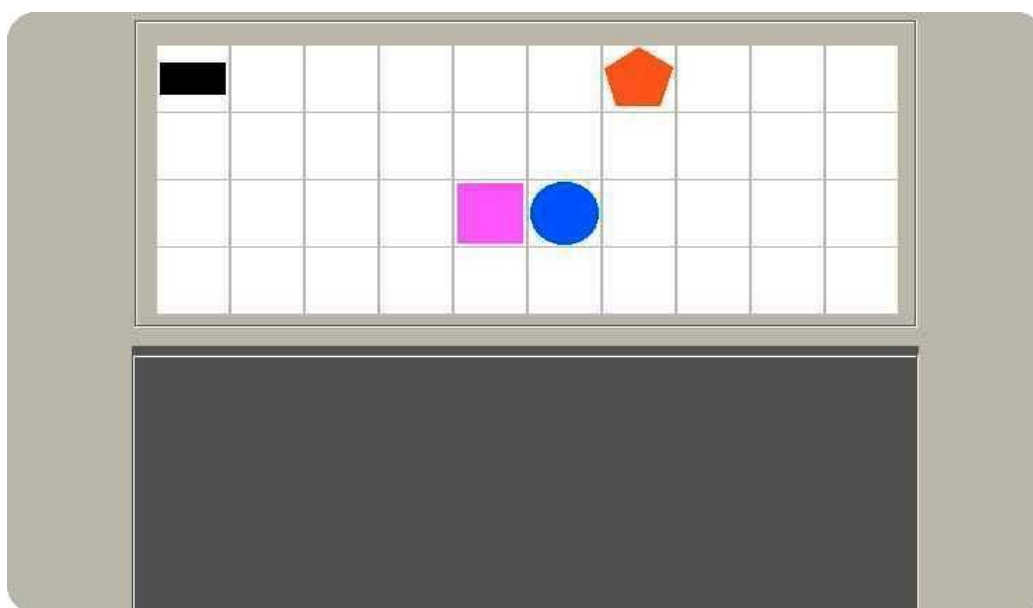
Nível instrucional:

Curso atual / último:

Mês/Ano início:  Mês/Ano fim:

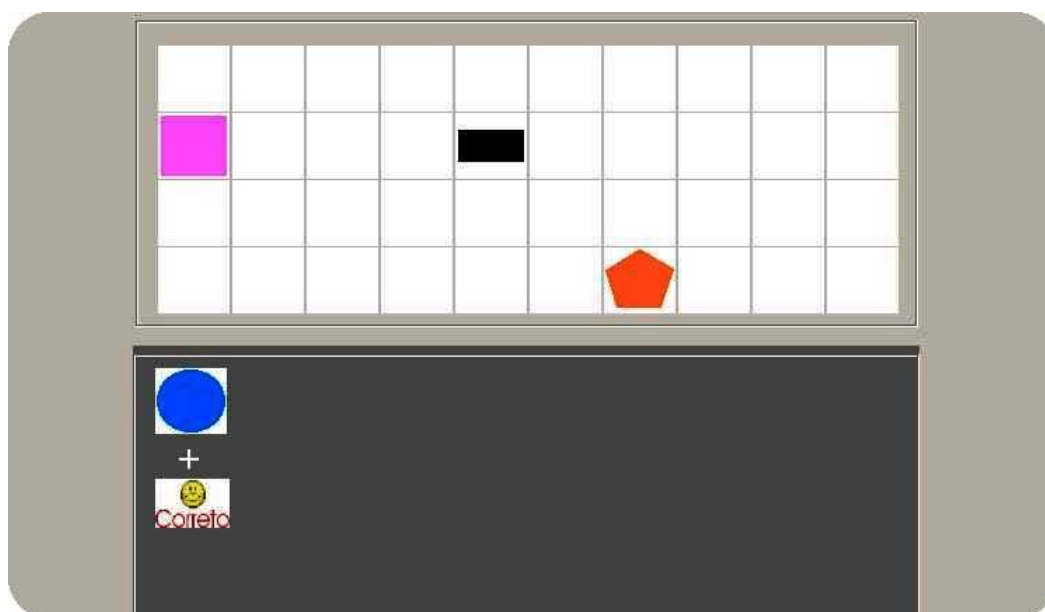
3. Em breve, você será instruído a colocar a setinha do *mouse* sobre o botão "Ok" e clicá-lo. NÃO FAÇA ISTO POR ENQUANTO. Antes, já a partir do próximo item, você ficará sabendo o que vai acontecer quando você clicar o botão.

4. Ao clicar o botão "Ok", você verá a imagem abaixo (as figuras poderão estar em outras posições). Com estas quatro figuras iniciais, você terá oportunidade de se familiarizar com a tarefa já praticando-a. Após este "aquecimento", a tarefa começará de verdade com a primeira das quatro seqüências programadas para a sessão. Leia atentamente o que vem a seguir.



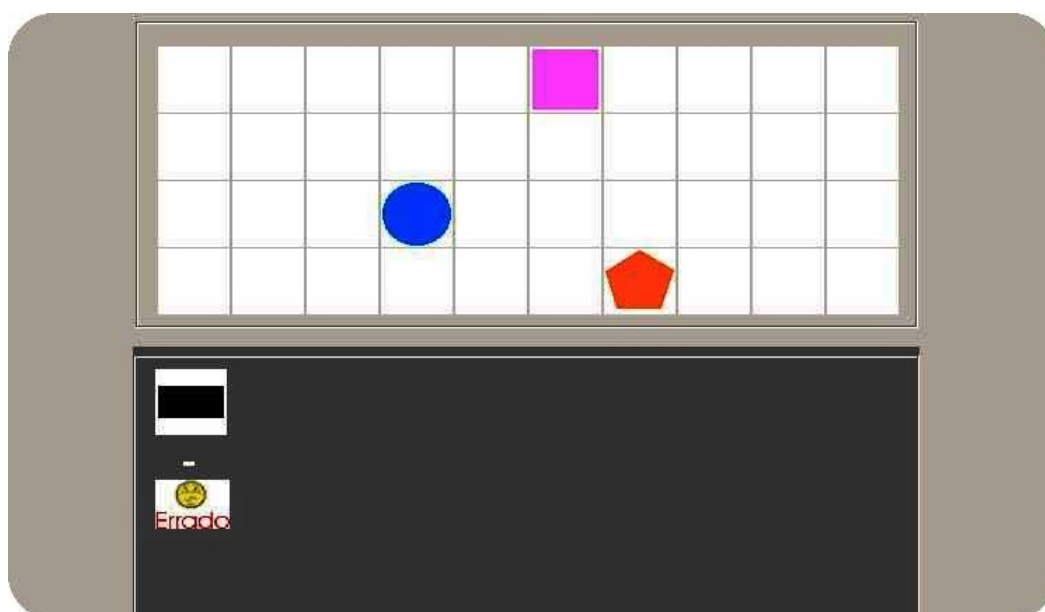
5. Chamaremos de "MATRIZ" o campo retangular quadriculado de cor branca na parte central superior da tela. Na MATRIZ se encontram as figuras que você deverá aprender a ordenar. Como você vai notar, a mudança na posição das figuras a cada vez que você clicar numa delas faz parte do funcionamento

normal do programa. A imagem abaixo exemplifica o que vai acontecer quando você clicar sobre qualquer uma das figuras.



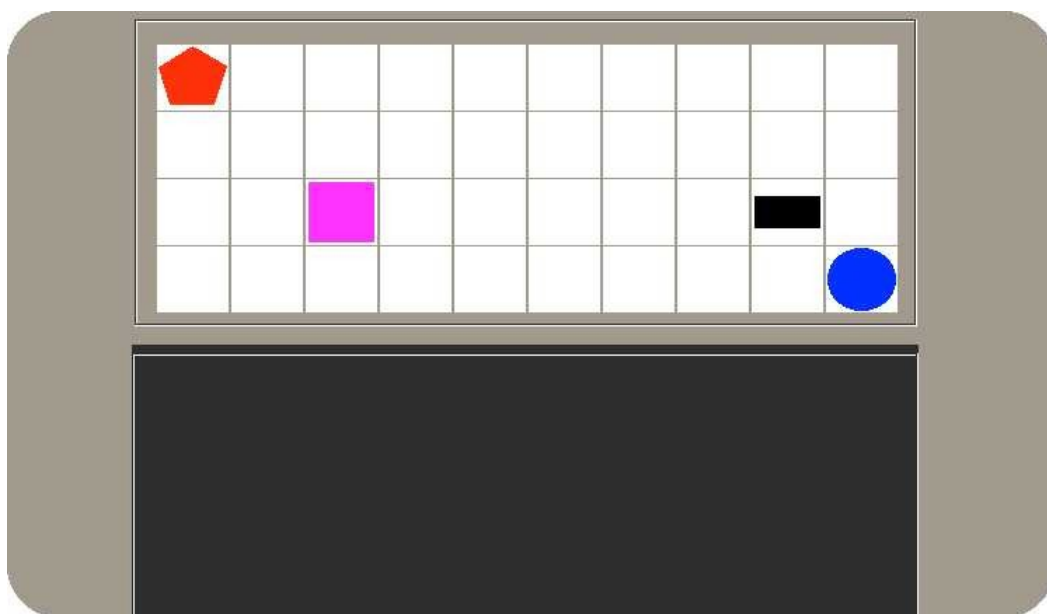
6. A figura escolhida (que, neste exemplo, foi o círculo azul) aparecerá no extremo esquerdo do campo preto localizado logo abaixo da matriz. Além disto, você receberá informação sobre o acerto ou o erro da sua escolha logo abaixo da figura. No caso acima, a escolha foi correta, pois há um sinal + , uma carinha feliz e a palavra “Correto” logo abaixo da figura. ISTO SIGNIFICA QUE O CÍRCULO AZUL É A PRIMEIRA FIGURA DA SEQUÊNCIA.

7. Caso a escolha seja incorreta, ocorrerá o que a imagem abaixo mostra:



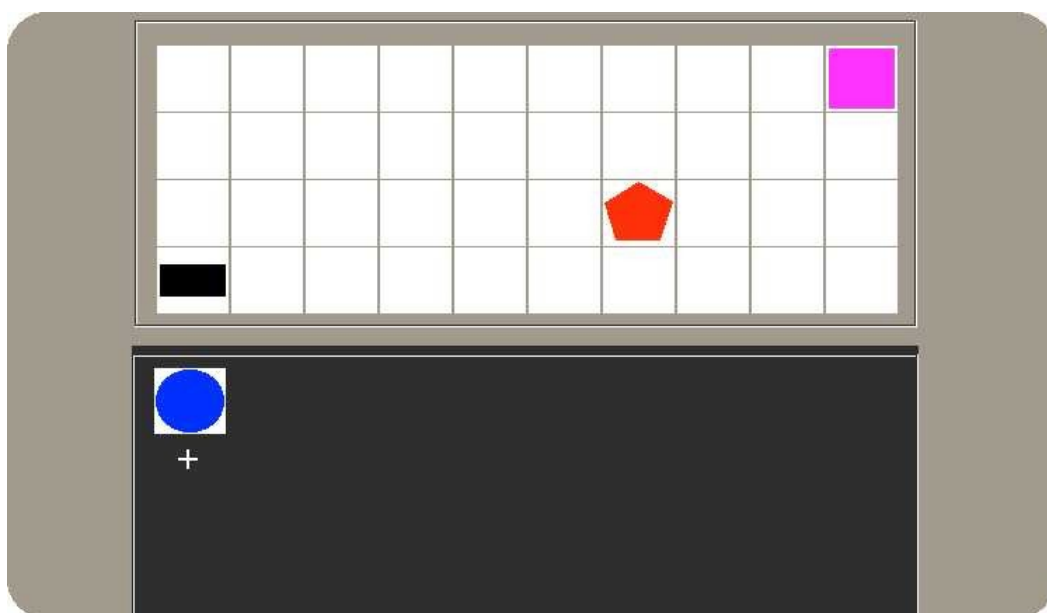
8. Você receberá informação sobre o erro, ou seja, logo abaixo da figura você verá um sinal – , uma carinha infeliz e a palavra “Errado”. ISTO SIGNIFICA QUE O RETÂNGULO PRETO NÃO É A PRIMEIRA FIGURA DA SEQUÊNCIA.

9. Quer você acerte ou erre a escolha, a figura escolhida ficará no campo preto por apenas 3 segundos. Após os 3 segundos, ela reaparecerá na matriz deixando o campo preto vazio, assim como mostra a imagem abaixo:



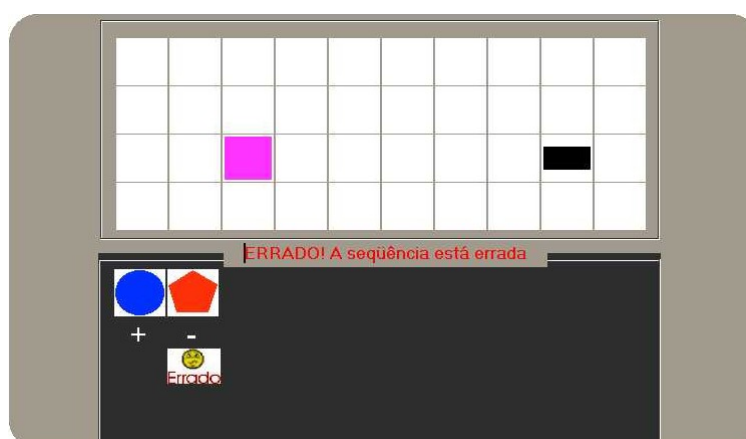
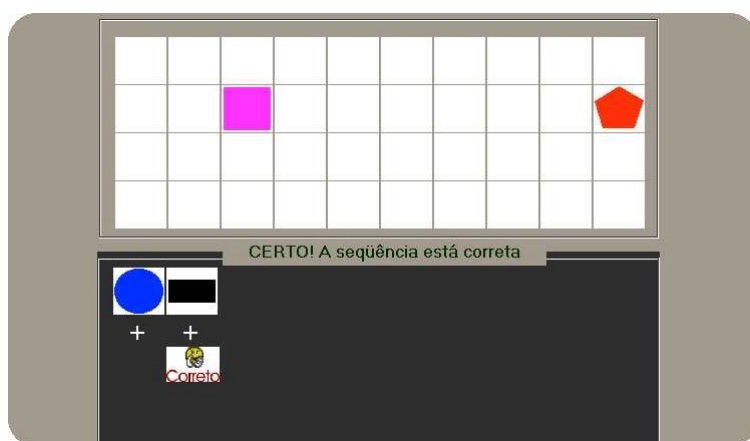
10. Neste ponto, você já sabe que neste exemplo a primeira figura da sequência é o círculo azul. Você o selecionou e sua escolha foi correta. Contudo, sua tarefa será ordenar todas as figuras da sequência. Portanto, você deverá descobrir que figura vem em segundo lugar, que figura vem em terceiro, que figura vem em quarto, e assim por diante, até a última figura da sequência.

11. Durante a realização da tarefa, você progredirá na aprendizagem da sequência do seguinte modo: a partir do segunda vez que você acertar uma figura, você terá oportunidade de realizar mais uma escolha antes do campo preto ficar vazio. Assim, considerando o exemplo acima, quando você escolher a primeira figura da sequência (círculo azul) pela segunda vez, ela aparecerá no campo preto com todas as informações sobre o acerto, como



12. O círculo azul e o sinal + permanecerão no campo preto até que você faça a próxima escolha, ou seja, a escolha da figura que você julgar ser a segunda figura da seqüência.

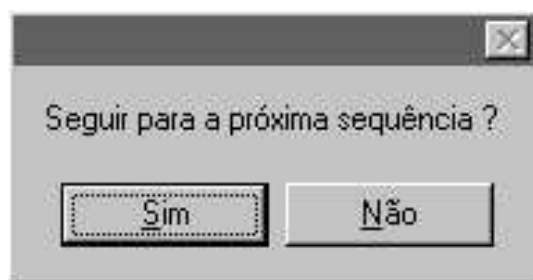
13. Quando você realizar a segunda escolha, acontecerá o que as imagens abaixo mostram, dependendo de ter sido a sua escolha correta (imagem superior à esquerda) ou incorreta (imagem inferior à direita).



14. Assim, os acertos consecutivos serão mantidos no campo preto até a escolha seguinte. Quando a primeira e a segunda figuras da seqüência (o círculo azul e o retângulo preto no exemplo) forem escolhidas corretamente de novo, elas serão mantidas no campo preto até a terceira escolha ser feita. Assim como já descrito, a terceira escolha poderá estar certa ou errada. Quando ocorrer o acerto da terceira figura, a escolha da quarta figura torna-se possível a partir da segunda vez e que a primeira, a segunda e a terceira figuras forem apresentadas em Seqüência, e assim por diante, até o fim da aprendizagem.

15. Como pode ser verificado nas duas últimas imagens, além da informação de acerto ou erro para cada figura, você passará a receber informação sobre acerto ou erro da seqüência como um todo a partir da segunda escolha. Se você estiver no "caminho certo", a informação será **"CERTO! A seqüência está correta"** (imagem superior à esquerda); se você estiver no "caminho errado", a informação será **"ERRADO! A seqüência está errada"** (imagem inferior à direita). A cada vez que você receber uma destas informações gerais, o campo preto tornará a ficar vazio, todas as figuras reaparecerão na matriz e, assim, você terá nova oportunidade de montar a seqüência. Este procedimento se repetirá até que você aprenda a seqüência completa. Como foi dito no início, nós consideraremos que você terá aprendido a seqüência quando conseguir montá-la por três vezes consecutivas sem cometer erros.

16. Ao final da aprendizagem de cada seqüência, já a partir da seqüência de "aquecimento", a mensagem abaixo será mostrada no centro da tela do computador:



17. Neste momento, você deverá clicar o botão "Sim" para começar a próxima seqüência. Caso, por qualquer razão, você decida não fazer a seqüência seguinte, você deverá clicar o botão "Não". Se você decidir não continuar, uma nova sessão de aprendizagem deverá ser marcada para que você possa concluir sua participação. O limite máximo de sessões para conclusão da participação é o de duas sessões. No caso de uma segunda sessão, a programação das seqüências recomençará exatamente no ponto de que você parou na primeira sessão. Se, por exemplo, na primeira sessão você fez a seqüência de "aquecimento" e a primeira e a segunda seqüências das quatro programadas, na segunda sessão a tarefa já inicia na terceira seqüência programada.

18. Você só poderá interromper a sessão na ocasião indicada acima, ou seja, quando surgir a mensagem "**Seguir para a próxima seqüência?**". Estando tudo transcorrendo normalmente durante a sessão, NÃO É PERMITIDA A INTERRUPÇÃO DA TAREFA DURANTE A APRENDIZAGEM DE UMA SEQÜÊNCIA. Quando a mensagem "**Seguir para a próxima seqüência?**" surgir, você pode, caso queira, interromper a tarefa apenas temporariamente, por alguns poucos minutos (no máximo 5 minutos; para beber água, ir ao banheiro, dar um breve telefone, esticar as pernas, etc.). Neste caso, quando a mensagem surgir, não clique "Sim" nem "Não". Pare, faça o que deseja, volte e clique em "Sim" para continuar. Desaconselhamos estas interrupções, pois elas aumentam a duração da sessão. Assim, caso você queira, beba água, vá ao banheiro, telefone, estique as pernas, etc., agora.

19. Durante a execução da tarefa é normal que você cometa erros. Não se perturbe como isso. Siga trabalhando atentamente, no ritmo mais confortável para você. Vá fazendo suas escolhas e observando o que ocorre. Procure sempre acertar.

20. Como já foi mencionado anteriormente, de início você terá a oportunidade de se "aquecer" com uma pequena seqüência. Este "aquecimento" tornará completo seu entendimento sobre a tarefa. A seqüência de "aquecimento" envolve as quatro figuras geométricas que estão nas imagens acima. Além disto, vale a informação que você já recebeu sobre a seqüência, ou seja, a primeira figura da seqüência é o círculo azul. Após o "aquecimento", a sessão segue com a primeira das quatro seqüências programadas.

21. Tudo entendido? Caso NÃO, releia o(s) ponto(s) das orientações em que você tem dúvida. Se sua(s) dúvida(s) persistir(em), a(s) esclareça com o(a) monitor(a). Caso SIM, informe o(a) monitor(a) que você vai começar, e ele(a) o(a) autorizará a fazê-lo. Após a autorização, clique em "Ok" e MUITO BOM TRABALHO!



## **Anexo III: Exemplo das medidas**

## ANÁLISE DAS MEDIDAS DE AGREGAÇÃO

1. Considere a tabela abaixo, que ilustra a tabela de registro do desempenho na tarefa do estudo.

| Tt | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 01 | - |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 02 | - |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 03 | - |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 04 | - |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 05 | - |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 06 | - |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 07 | - |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 08 | - |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 09 | + |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 10 | + | - |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 11 | + | - |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 12 | + | - |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 13 | - |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 14 | + | - |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 15 | + | - |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 16 | + | - |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 17 | - |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 18 | + | - |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 19 | + | + |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 20 | + | + | - |   |   |   |   |   |   |    |
| 21 | + | + | - |   |   |   |   |   |   |    |
| 22 | + | + | - |   |   |   |   |   |   |    |
| 23 | + | - |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 24 | + | + | - |   |   |   |   |   |   |    |
| 25 | + | + | - |   |   |   |   |   |   |    |
| 26 | + | + | - |   |   |   |   |   |   |    |
| 27 | + | + | - |   |   |   |   |   |   |    |
| 28 | + | + | - |   |   |   |   |   |   |    |
| 29 | - |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 30 | + | + | + |   |   |   |   |   |   |    |
| 31 | + | + | + | - |   |   |   |   |   |    |
| 32 | + | + | + | - |   |   |   |   |   |    |
| 33 | + | + | + | - |   |   |   |   |   |    |
| 34 | + | - |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 35 | + | + | - |   |   |   |   |   |   |    |
| 36 | + | + | + | - |   |   |   |   |   |    |
| 37 | + | + | + | - |   |   |   |   |   |    |
| 38 | + | + | + | - |   |   |   |   |   |    |
| 39 | + | + | + | - |   |   |   |   |   |    |
| 40 | + | + | + | - |   |   |   |   |   |    |
| 41 | + | + | - |   |   |   |   |   |   |    |
| 42 | + | + | + | + |   |   |   |   |   |    |
| 43 | + | + | + | + | - |   |   |   |   |    |
| 44 | + | - |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 45 | + | + | + | - |   |   |   |   |   |    |
| 46 | + | + | + | + | - |   |   |   |   |    |
| 47 | + | + | + | + | - |   |   |   |   |    |
| 48 | + | + | + | + | - |   |   |   |   |    |
| 49 | + | + | - |   |   |   |   |   |   |    |
| 50 | + | + | + | + | - |   |   |   |   |    |
| 51 | + | + | + | + | - |   |   |   |   |    |
| 52 | + | + | + | + | - |   |   |   |   |    |
| 53 | + | + | + | + | - |   |   |   |   |    |
| 54 | + | + | + | + | - |   |   |   |   |    |
| 55 | + | - |   |   |   |   |   |   |   |    |

| Tt | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 56 | - |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 57 | + | + | + | + | + |   |   |   |   |    |
| 58 | + | + | + | + | + | - |   |   |   |    |
| 59 | + | + | + | + | + | - |   |   |   |    |
| 60 | + | + | + | - |   |   |   |   |   |    |
| 61 | + | + | + | + | - |   |   |   |   |    |
| 62 | + | + | + | + | + | - |   |   |   |    |
| 63 | + | + | + | + | + | - |   |   |   |    |
| 64 | + | + | + | + | + | - |   |   |   |    |
| 65 | + | + | + | + | + | - |   |   |   |    |
| 66 | + | + | + | + | + | - |   |   |   |    |
| 67 | + | + | + | + | + | + |   |   |   |    |
| 68 | + | + | + | + | - |   |   |   |   |    |
| 69 | + | + | + | + | + | + | - |   |   |    |
| 70 | + | + | + | + | + | + | - |   |   |    |
| 71 | + | + | + | + | + | + | - |   |   |    |
| 72 | + | + | + | + | + | + | - |   |   |    |
| 73 | + | + | + | - |   |   |   |   |   |    |
| 74 | + | + | + | + | + | - |   |   |   |    |
| 75 | + | + | + | + | + | + | - |   |   |    |
| 76 | + | + | + | + | + | + | - |   |   |    |
| 77 | + | + | + | + | + | + | + |   |   |    |
| 78 | + | + | + | + | + | + | + | - |   |    |
| 79 | + | + | - |   |   |   |   |   |   |    |
| 80 | + | + | + | + | + | + | + | - |   |    |
| 81 | + | + | + | + | + | + | + | - |   |    |
| 82 | + | + | + | + | + | + | + | + |   |    |
| 83 | + | + | + | + | + | - |   |   |   |    |
| 84 | + | + | + | + | + | + | + | + | - |    |
| 85 | + | + | + | + | + | + | + | + | + |    |
| 86 | + | + | + | + | + | + | - |   |   |    |
| 87 | + | + | + | + | + | + | + | - |   |    |
| 88 | + | + | + | + | + | + | + | + | - |    |
| 89 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |
| 90 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |
| 91 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |
| 92 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |
| 93 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |

Continua

**NÚMERO DE TENTATIVAS PARA AGREGAÇÃO SEQUENCIAL DO ESTÍMULO:** (Na tabela, as agregações estão indicadas em azul).

**Definição:** É o número de tentativas até a primeira escolha correta do estímulo (inclusa a escolha correta). Para o primeiro estímulo da sequência (E1), a contagem começa na primeira tentativa da tarefa. Do segundo estímulo (E2) em diante, a contagem começa na tentativa que ocorre logo após a tentativa em que o estímulo anterior na sequência foi agregado. No exemplo, o E1 foi agregado na tentativa 9. Deste modo, a contagem do número de tentativas para agregação do E2 começa na tentativa 10.

**TEMPO GASTO PARA AGREGAÇÃO SEQUENCIAL DO ESTÍMULO:**

**Definição:** É o tempo (em s ou m) despendido até a primeira escolha correta do estímulo (inclusa a escolha correta). Para o primeiro estímulo da sequência (E1), a contagem do tempo começa quando a interface da tarefa fica a disposição do participante que este a inicie. Do segundo estímulo (E2) em diante, a contagem do tempo começa quando a tentativa que ocorre logo após a tentativa em que o estímulo anterior na sequência foi agregado tem início. No exemplo, o E1 foi agregado na tentativa 9. Deste modo, a contagem do tempo para agregação do E2 começa quando a tentativa 10 inicia.

Tabela 1: Número de tentativas para agregação dos estímulos (no exemplo).

|          | ESTÍMULOS |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          | 1         | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| NTotTt=  | 09        | 10 | 11 | 12 | 15 | 10 | 09 | 05 | 02 | 01 |
| NOportR= | 00        | 02 | 02 | 03 | 05 | 02 | 02 | 01 | 01 | 00 |
| NTtAgr=  | 09        | 08 | 08 | 09 | 10 | 08 | 07 | 04 | 01 | 01 |

NTotTt= Número total de tentativas para a agregação.

NoportR= Número de não-oportunidades de resposta.

NTtAgr= NÚMERO DE TENTATIVAS PARA AGREGAÇÃO DO ESTÍMULO.

**NÚMERO DE TENTATIVAS PARA AGREGAÇÃO SEQUENCIAL REAL DO ESTÍMULO:** (Na tabela, as agregações reais estão indicadas em amarelo).

**Definição:** É o número de tentativas entre a agregação do estímulo (excluída a resposta que define a agregação) e a primeira escolha correta após o último erro observado em resposta ao estímulo (inclusa a escolha correta). No exemplo, o E1 foi agregado na tentativa 9. Deste modo, a contagem para a agregação real do E1 começa na tentativa 10. O último erro ao E1 ocorreu na tentativa 56. O acerto na tentativa 57 define a agregação real. No exemplo, portanto, o número de tentativas para agregação real do estímulo 1 foi 48.

**TEMPO GASTO PARA AGREGAÇÃO SEQUENCIAL REAL DO ESTÍMULO:**

**Definição:** É o tempo (em s ou m) despendido entre o início da primeira tentativa após a tentativa em que ocorre a agregação do estímulo e o início da primeira tentativa após a tentativa em que se observa o último erro em resposta ao estímulo. No exemplo, o E1 foi agregado na tentativa 9. Deste modo, a contagem para o tempo gasto para agregação real do E1 começa quando a tentativa 10 se inicia. O último erro ao E1 ocorreu na tentativa 56. O acerto na tentativa 57 define a agregação real. No exemplo, portanto, o tempo gasto para agregação real do estímulo 1 é o tempo que terá decorrido entre o início da tentativa 10 e o fim da tentativa 57.

Tabela 2: Número de tentativas para agregação real dos estímulos (no exemplo).

|          | ESTÍMULOS |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          | 1         | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| NTotTt=  | 48        | 37 | 50 | 32 | 12 | 17 | 10 | 06 | 06 | 01 |
| NOportR= | 00        | 02 | 04 | 04 | 01 | 03 | 02 | 02 | 02 | 01 |
| NTtAgrR= | 48        | 35 | 46 | 28 | 11 | 14 | 08 | 04 | 04 | 00 |

NTotTt= Número total de tentativas para a agregação real.

NoportR= Número de não-oportunidades de resposta.

NTtAgrR= NÚMERO DE TENTATIVAS PARA AGREGAÇÃO REAL DO ESTÍMULO.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)