

## **Colônia de Formigas: Uma abordagem para obtenção de rotas de baixo custo para turistas na Copa do Mundo**

Igor Andrade Lessa de Oliveira, Paulo Henrique Ferreira Leite

### **Resumo**

*O alto atrativo turístico de um evento de copa do mundo faz com que países sedes recebam uma grande quantidade de visitantes durante a competição. Como os turistas realizam voos internos entre as cidades do evento para presenciar os jogos e o custo de passagens aéreas é muitas vezes proporcional à distância percorrida em cada trecho, uma logística de rota a ser percorrida pode reduzir drasticamente o custo da viagem. Tendo isso em vista foi realizada uma abordagem com utilização do Algoritmo de Colônia de Formigas ao problema descrito, de forma a permitir a escolha de uma rota menos custosa e que possa fornecer ao turista condição de aproveitar o evento.*

**Palavras-chave:** Modelo. Artigo científico. Redação técnica. Outra palavra

### **I- INTRODUÇÃO**

A copa do mundo é uma competição internacional de alta atratividade turística que ocorre a cada quatro anos, quando é definido que um país irá ser o anfitrião de uma Copa do Mundo é demandado a ele diversas competências. Entre essas, estão a transformação de suas cidades sede em pontos turísticos de alta visibilidade e a adequação de uma malha área satisfatória para suportar todo o fluxo de passageiros. A copa do mundo de 2014, sediada no Brasil, atraiu 600 mil turistas que rodaram as 12

cidades sedes do país em busca dos melhores jogos, entre os gastos mais significativos que eles tiveram está o das passagens aéreas. A busca pela redução desse custo, através da determinação de um trajeto mais atrativo economicamente, serviu de estímulo para o desenvolvimento desse projeto.

No restante desse artigo serão descritos aspectos técnicos do desenvolvimento e dos cenários da proposta de solução para o problema descrito. A proposta foi feita com base em dados obtidos da Copa Do Mundo realizada no Brasil, em 2014.

## II – COLÔNIA DE FORMIGAS

O desenvolvimento da solução proposta teve como base o Algoritmo da Colônia de Formigas, a abordagem desse algoritmo toma como base o comportamento de uma colônia real. No qual, as formigas procuram alimento até encontrar, quando encontram, voltam para a colônia, deixando um rastro de feromônio ligado à fonte de alimento. Novas formigas em suas buscas tendem a seguir o rastro de feromônio, também aumentando sua concentração ao passar pelo percurso. Agentes naturais como vento e evaporação, diminuem essa concentração, fazendo que com, trajetos mais frequentemente utilizados, sejam cada vez mais escolhidos.

A execução do Algoritmo pode ser dividida em basicamente três etapas:

1. Inicialização do sistema:
  - Calcular a desejabilidade de cada nó;
  - Definir a quantidade de feromônio de cada arco;
  - Distribuir as formigas de modo aleatório entre os nós.
2. Para cada iteração definida:
  - Cada formiga percorre todos os nós do grafo, calculando, em cada nó, sua probabilidade de movimento.

### 3. Atualização do feromônio:

- Incrementar a quantidade de feromônio nas rotas escolhidas;
- Reduzir a quantidade de feromônio nas demais rotas.

Essa meta-heurística tem sido muito utilizada, suas ideias apesar de simples, tem retornado resultados muito bons.

## III - DESCRIÇÃO DO CENÁRIO E ENTRADA DE DADOS.

Para implementar o algoritmo ACO na abordagem do problema foi necessário definir um cenário, de forma que as regras de funcionalidade fossem passíveis de implementação.

Foi definido que o objetivo central do projeto era encontrar o menor caminho para que um turista percorra as cidades da copa do mundo de acordo com as seguintes regras:

1. Não se pode frequentar uma mesma cidade duas vezes.
2. O turista só pode ir para uma cidade que possua jogo na rodada determinada.
3. O turista deve ir obrigatoriamente a sete jogos, caracterizando todas as fases de uma Copa do Mundo.

4. O turista irá à final no Rio de Janeiro.

O sistema apresenta somente duas entradas de dados.

1. Tabela de distâncias, que contempla em quilômetros o trajeto entre cada uma das cidades Sede.
2. Relação de jogos, que contempla quais cidades sediarão jogos em cada uma das fases.

Definido o cenário e a entrada de dados foi possível iniciar a modelagem das classes a serem utilizadas.

#### IV - MODELAGEM DO PROBLEMA

A modelagem do problema foi um dos desafios encontrados no desenvolvimento do projeto. Para representar de forma real o cenário optamos por realizar a implementação em Java, orientado a objeto.

As principais classes utilizadas estão descritas no diagrama abaixo:

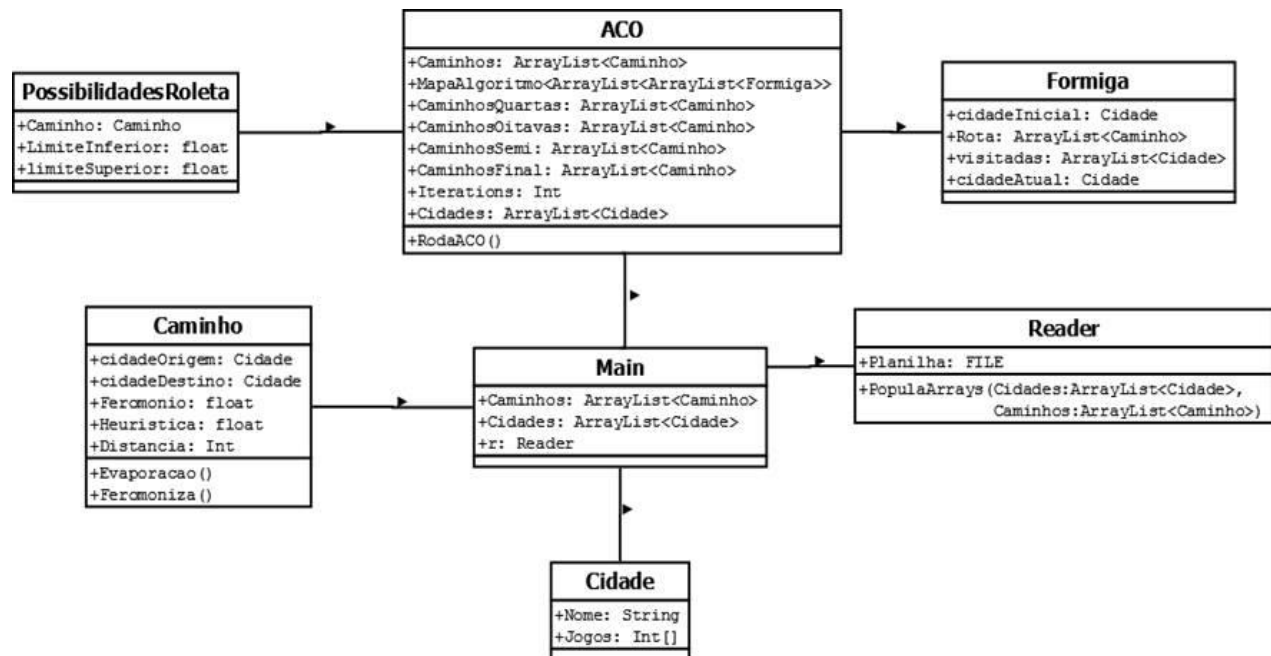


Figura 1: Diagrama de Classes

- Cada Cidade sede é representada por um objeto do tipo Cidade e possui um vetor de 1 ou 0, que indica se ela possui ou não jogo em uma determinada fase.
- Cada Trajeto existente entre cidades sede é definido como um Objeto da classe Caminho, eles contém a distância em quilômetros, o feromônio atual, e também a heurística a ser utilizada. Além de uma Cidade Origem e a Cidade Destino do percurso. A classe Caminho também contempla os métodos de incrementar feromônio e o de evaporação do mesmo.
- Cada Formiga é representada por um objeto da classe Formiga, ela possui um ArrayList de caminhos percorridos (Rota), um ArrayList de cidades visitadas, a Cidade Inicial e a Cidade Atual do processo.
- A classe reader, é responsável por fazer a leitura da entrada de dados.
- A classe AOC é responsável por implementar todo o algoritmo de busca, ela guarda em MapaAlgoritmo o conjunto de todas as formigas utilizadas por sua execução. O que permite avaliar quais os caminhos encontrados ao longo da execução. Ela recebe um número de iterações máximo definido pelo usuário.

- A classe PossibilidadesRoleta foi utilizada para aplicar o modelo roleta na seleção de cada caminho seguir.
- A classe principal armazena todos os objetos de Caminho e Cidade, além de um do tipo reader e AOC, que será utilizado para rodar o algoritmo.

## V - DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS E HEURÍSTICAS

A definição dos atributos é um processo vital para o funcionamento do algoritmo, sua escolha foi feita baseada em critérios empíricos que avaliamos ao longo das execuções.

Foi definida a cada formiga uma das cidades sede como cidade Inicial, com exceção de Rio de Janeiro.

A cidade Final da rota foi definida como sendo sempre Rio de Janeiro.

Feromônio Inicial em cada caminho: 1.0

Incremento do Feromônio a cada Passada: +0.05

Taxa de Evaporação a cada execução: -0.1

Heurística utilizada:  $\frac{1}{d}$ , em que d é a distância em quilômetros entre duas cidades.

Probabilidade de se escolher um caminho:

$$P_{i-j} = \frac{feromono_{i-j} * heuristica_{i-j}}{\sum_{j=0}^n feromono_{i-j} * heuristica_{i-j}}$$

A probabilidade de se escolher um caminho P é dada pelo produto entre o feromônio de P e sua heurística, dividido pela soma desse mesmo produto de todos os outros caminhos possíveis.

## VI - CAMINHOS POSSÍVEIS

Um dos grandes desafios do projeto foi definir como determinar quais caminhos deverão ser selecionados entre o ArrayList de todos os caminhos para ser considerado um Caminho Possível.

Para isso foi realizada uma separação entre os caminhos de acordo com a fase corrente, por exemplo: Se uma Formiga está

atualmente na fase de Semi-Final, só serão avaliados caminhos que possuem como destino, cidades que sediam jogos na Semi-Final.

Após essa primeira seleção, a avaliação parte do seguintes critérios:

- Cidade Origem deve ser igual à Cidade Atual da Formiga
- Caminho não está contido no vetor de rotas da Formiga, condição que garante que a formiga não percorra cidades repetidas.
- Escolha do Caminho garante a existência de uma rota para a final, condição eu garante que a formiga percorra as sete rodadas definidas.

A execução do Algoritmo então é feita como descrita na figura a seguir:



**Figura 2: Exemplo da Execução do ACO**

As cidades em vermelho, não tiveram seus caminhos avaliados. A execução descrita optou por selecionar em cada uma das rodadas as cidades em Azul. Os caminhos verdes e azuis foram avaliados na execução do Algoritmo.

## VII – RESULTADOS

Os resultados do algoritmo estão contemplados na tabela abaixo, ele foi executado 10 vezes para cada valor máximo de iterações descrito. A quantidade de vezes que o caminho obtido foi obtido para cada quantidade de iterações está descrita na coluna Qtd Ótimo.

Iterações	Pior Caminho	Melhor Caminho	Qtd Ótimo
5	13265	3386	1
10	13593	3386	5
15	12250	3386	7
20	12295	3386	6
30	13201	3386	7
40	13106	3386	8
50	13807	3386	8
60	13497	3386	10
70	12250	3386	9
90	14359	3386	9
500	14263	3386	9

**Tabela 1: Resultados para 10 execuções com cada número máximo de iterações.**

O caminho ótimo encontrado possui uma distância de 3386 quilômetros, e percorre a seguinte rota:

Fortaleza -> Natal -> Recife -> Salvador ->  
Brasília -> Belo Horizonte -> Rio de Janeiro

## VIII - CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Os resultados foram de acordo com o que era esperado. A proximidade das cidades brasileiras no Nordeste fez com que os caminhos que percorrem essas sedes tivessem uma maior probabilidade de serem escolhidos. À medida que o número de iterações foi aumentado, a quantidade de feromônio fez com que o algoritmo tendesse a convergir para essas cidades na maioria

das vezes. O fato de o mesmo caminho não ter sido escolhido em todas as dez execuções para quantidades maiores de iterações. Entretanto, novas heurísticas poderiam ser utilizadas para transformar o cenário em algo mais próximo da realidade. Um exemplo é inserir a atratividade do jogo que a cidade sediará como um fator de relevância, jogos “melhores” teriam mais chance de serem escolhidos apesar de percorrer uma maior distância. Além disso, não foi avaliada a questão das datas, o que pode fazer com que a execução retorne rotas em jogos com datas muito próximas, tornando o trajeto cansativo.

Todavia, o projeto atendeu a seu propósito, e retornou uma solução ótima para o problema descrito, sendo capaz de fornecer uma melhora de custo para turistas que desejam visitar uma Copa do Mundo.

## AGRADECIMENTOS

Os Autores gostariam de agradecer ao professor Rogério M. Gomes pela oportunidade de utilizar os conceitos aprendidos na disciplina de Inteligência Artificial em um projeto com tema de livre escolha. E ao site da Itatrans por nos fornecer a tabela com as distâncias entre as cidades.

mostra como o algoritmo ainda possui certo grau de liberdade, o que é satisfatório.

## REFERÊNCIAS

1. Otimização por Colônia de Formigas (Ant Colony Optimization) José Carlos Becceneri, Stephan Stephany, Haroldo Fraga de Campos Velho, Antônio José da Silva Neto <<http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/01.20.19.27/doc/cap7.pdf>> Acesso em 10/08/2014
2. ALGORITMOS DE COLÔNIAS DE FORMIGAS Francisco A. M. Gomes, <<http://www.ime.unicamp.br/~chico/mt852/formigas.pdf>> Acesso em 10/08/2014