

OTIMIZAÇÃO DE CUSTO E TEMPO EM ROTEIROS DE VIAGEM

GUSTAVO LINHARES VIEIRA* FREDERICO GADELHA GUIMARÃES† LUCAS S. BATISTA†

* *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil*

† *Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte, MG, Brasil*

Email: {gustavolvieira, fredericoguimaraes, lusoba}@ufmg.br

Abstract— Current tools for trip planning allow users to search for flights and hotels and build their own itinerary, but they do not offer support for trips with flexibility on dates or destination ordering. In order to solve this problem, we propose a new system that searches for the best combination of flights and accommodations for a trip, minimizing cost and transportation time. The system can optimize itineraries with flexible dates and does not require a fixed destination order, which allows it to consider all possible configurations that fulfill users specifications. This way, it offers good itineraries for trips with much less effort from users, which represents a significant improvement on trip planning experience.

Keywords— Route Planning, Travel Planning, Multiobjective Optimization

Resumo— As ferramentas atuais para planejamento de viagens permitem que usuários busquem passagens e hotéis e construam seu próprio itinerário, mas não oferecem suporte para viagens com flexibilidade nas datas ou na ordenação de destinos. Para solucionar esse problema, propõe-se um novo sistema que busca as melhores combinações de passagens e hotéis para uma viagem, minimizando o custo e tempo de transporte. O sistema é capaz de otimizar roteiros com datas flexíveis e não requer uma ordem fixa dos destinos, de forma que considera todas as possíveis configurações que atendem as especificações do usuário. Dessa forma, oferece boas opções de itinerários para viagens com esforço do usuário muito menor, representando uma melhoria significativa na experiência de planejamento de viagens.

Palavras-chave— Planejamento de Rotas, Planejamento de Viagens, Otimização Multiobjetivo.

1 Introdução

O uso cada vez mais proeminente da internet como via de comércio levou muitas mudanças ao mercado de turismo. Sites de vendas de voos e reservas de hotéis são cada vez mais acessados (Buhalis, 2004), o que representa um afastamento do antigo modelo de pacotes pré-moldados e agentes de turismo. Atualmente, é cada vez mais comum que viajantes planejem suas próprias viagens, ajustando cada detalhe à suas preferências (Buhalis and Law, 2008; Berne et al., 2012).

Uma etapa crucial no planejamento de viagens é determinar os transportes e acomodações do roteiro. Viajantes podem gastar muito tempo procurando pela combinação que provê maior conforto com menores custos e tempo de viagem. Muitas ferramentas foram desenvolvidas para ajudar os usuários nessa tarefa específica, oferecendo sugestões de voos e hotéis com base nas preferências do usuário. A experiência de uso desses sistemas tem um impacto significativo nas conversões e vendas (Buhalis and Law, 2008). Entre as ferramentas de maior sucesso estão *Skyscanner*, *Expedia*, *Rome2Rio*, *Booking.com* e *Hipmunk*.

A maioria dessas ferramentas, entretanto, oferecem apenas sugestões para trechos entre dois destinos da viagem. Isso significa que, para viagens maiores com mais destinos, o usuário precisa buscar cada trecho separadamente, o que demanda tempo e esforço. Além disso, nenhum des-

ses sistemas possui opções de busca avançada que possam considerar viagens com datas flexíveis ou nas quais a ordem dos destinos não é fixa. Nessas situações, a quantidade de possíveis combinações de hotéis e passagens aumenta, e se torna mais trabalhoso procurar a opção mais adequada.

A busca das melhores combinações pode ser formulada como um problema de otimização onde os objetivos são minimizar o custo da viagem e o tempo gasto em trânsito entre diferentes destinos. Nesse problema, é necessário considerar todas as possíveis ordenações dos destinos na viagem e, para cada uma, as opções de transportes e acomodações disponíveis. Isso permitiria oferecer de forma automática para um usuário as melhores combinações para seu roteiro, garantindo assim uma experiência de uso melhor e mais eficiente.

Esse trabalho propõe uma ferramenta para solucionar o problema descrito. O sistema desenvolvido baseia-se nas especificações do usuário para solucionar o problema de otimização descrito e obter como resultado o conjunto de melhores opções de transportes e acomodações para um roteiro de viagem.

O artigo é organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta trabalhos relacionados da área e conceitos importantes de otimização; a Seção 3 descreve o método de otimização utilizado; a Seção 4 explora a modelagem do problema e aplicação do método discutido; na Seção 5 são apresentados e discutidos os resultados alcançados e

os experimentos realizados; finalmente, a Seção 6 conclui o trabalho, avalia sua contribuição e considera propostas de continuidade.

2 Revisão da Literatura

O problema de otimização de roteiro de viagens proposto consiste em determinar a combinação de voos e hotéis que minimizam custo e tempo em trânsito em uma viagem. O conjunto de restrições considera datas inicial e final, datas específicas para cada destino, ordenação dos destinos e características das acomodações e transportes. Pode ser considerado uma aplicação multiobjetivo do problema do Caixeiro Viajante com Janelas de Tempo e Dependência Temporal (Focacci et al., 1999).

Esse problema consiste em encontrar a rota mais curta para um caixeiro viajante visitando todas as cidades de um conjunto, e cada cidade deve ser visitada numa dada janela de tempo. É um problema NP-completo (Desrosiers et al., 1995) que pode ser visto como a união entre o problema do caixeiro viajante clássico com um problema de escalonamento. Embora existam diversas soluções propostas (Calvo, 2000; López-Ibáñez and Blum, 2010; Da Silva and Urrutia, 2010; Karabulut and Tasgetiren, 2012; Kinable et al., 2015), não foram encontradas aplicações em planejamento de viagens e com múltiplos objetivos.

Na literatura específica sobre planejamento de viagens, existem diversos trabalhos com aplicações que otimizam itinerários turísticos em um único destino, considerando possíveis pontos de interesse para serem visitados, seus horários de abertura e a disponibilidade de transporte na cidade (Gavalas et al., 2015; Garcia et al., 2009; Sylejmani and Dika, 2011; Chia et al., 2016; Chen et al., 2015; Bao et al., 2013). Esses problemas são em geral variações do problema de Orientação de Times com Janelas de Tempo e Múltiplas Restrições. O principal ponto que diferencia esses trabalhos do problema considerado é que eles não requerem que todos os pontos de interesse sejam visitados.

3 Metaheurística: Colônia de Formigas

O problema de otimização de roteiros proposto é um problema combinatório NP-completo. A grande quantidade de possíveis componentes de uma solução (voos e hotéis disponíveis) contribui para elevar o tamanho do espaço de buscas. Há também muitas restrições consideradas, o que sugere que grande parte das combinações de componentes possíveis não gera soluções viáveis. Desse modo, é desejável utilizar um método que possa se restringir às regiões factíveis do espaço de buscas. Além disso, deve ser capaz de navegar por

tudo esse espaço, incluindo transitar entre regiões possivelmente não conexas desse espaço.

Dentre múltiplas opções, a metaheurística populacional de Colônia de Formigas (Dorigo and Blum, 2005) se destaca como um método promissor. Além do seu sucesso com problemas combinatórios difíceis (Hillier, 2010; Dorigo and Stützle, 2004), outras características o fazem particularmente apropriado para esse problema. Esse método, aliado à representação correta do problema, é capaz de evitar regiões infactíveis do espaço de buscas e criar uma estrutura de busca totalmente conexa. Além disso, permite avaliar cada componente da solução de maneira independente e representar múltiplos objetivos de uma maneira intuitiva.

Essa metaheurística utiliza agentes que percorrem o espaço de busca construindo soluções passo-a-passo. A cada passo, um componente dentre aqueles factíveis é escolhido probabilisticamente. Essa probabilidade depende de uma função de avaliação heurística e de um valor de feromônio atribuído a cada componente. Em problemas multiobjetivos, a utilização de múltiplas matrizes de feromônio (uma para cada objetivo) é comumente empregada (Angus and Woodward, 2009).

4 Metodologia

4.1 Modelagem do problema

4.1.1 Entradas do Usuário

As entradas do usuário para o sistema definem o roteiro desejado e restrições específicas do viajante:

- Destino inicial
- Intervalos com limites das datas de partida e de retorno
- Indicador de retorno ao destino inicial, se desejado
- Conjunto de destinos a serem visitados, incluindo para cada um especificações de intervalo mínimo e máximo de permanência, ordenação do destino na viagem, ordenação do destino em relação a outros destinos e janela de datas para visita ao destino
- Restrições de transporte, relativas a preços, companhias aéreas, categoria do voo e horários de partida aceitáveis
- Restrições de acomodação relativas a preços, localização e tipo de acomodação (hotéis, albergues, apartamentos, etc.)

4.1.2 Estrutura da Solução

Os componentes das soluções são:

- Transportes (T): conjunto de opções de transportes disponíveis para a viagem. Cada elemento possui informações referentes ao custo,

destino de partida, destino final e hora e local de partida e de chegada

- Acomodações (A): conjunto de todas as opções de acomodações disponíveis para a viagem. Cada elemento possui informações referentes ao custo da estadia, intervalo de datas da estadia, destino, tipo e localização

Uma solução candidata para o problema é definida como uma lista alternada de transportes e acomodações que define uma opção de transporte para cada trecho e uma opção de acomodação para cada estadia visitada. Para k destinos, uma solução s é:

$$s = (T_1, A_1, T_2, A_2, \dots, T_k, A_k, T_{k+1}) \quad (1)$$

A estrutura proposta permite representar o espaço de buscas formado por todas as soluções factíveis (conjunto S) em forma de grafo. Neste grafo, as arestas representam os componentes da solução (transportes e acomodações), enquanto os vértices representam os destinos. A partir de um ponto inicial que representa o destino de origem, é possível acrescentar à solução qualquer $T_i \in \mathbf{T}$ que atenda às restrições temporais e, partindo dali, tenha como destino qualquer dos outros destinos. Nesses destinos, é então possível escolher qualquer $A_i \in \mathbf{A}$ que atenda às restrições de estadia no destino. A partir daí, em cada vértice estão disponíveis novos elementos de \mathbf{T} que atendam às restrições nesse ponto. Esse processo se repete sucessivamente até que todos os destinos tenham sido visitados.

O grafo da Figura 1 representa o espaço de soluções factíveis para um problema com 2 destinos, sendo $t \in \mathbf{T}$ uma opção factível de transporte entre os dois destinos e $a \in \mathbf{A}$ uma opção factível de acomodação no destino. Na situação representada, há sempre 3 opções de transporte entre destinos e 2 opções de acomodação para cada destino. Em situações reais, essas quantidades variam.

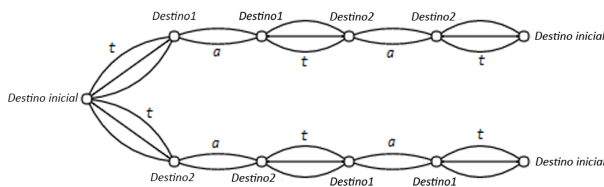


Figura 1: Grafo representando o espaço de soluções factíveis para um problema com 2 destinos

O grafo obtido possui topologia de árvore. Sendo k o número de destinos, p o número médio de transportes factíveis entre destinos e q o número médio de acomodações disponíveis em cada destino que atendam às restrições no ponto, é possível estimar o número de soluções factíveis possíveis como tamanho do espaço de buscas ($|S|$):

$$|S| = (k)! p^{k+1} q^k \quad (2)$$

4.1.3 Funções Objetivo

As funções objetivo minimizadas no problema são:

- Custo: soma dos custos de todos os componentes da solução

$$F_1(s) = \sum_{i=1}^{k+1} T_{i.custo} + \sum_{j=1}^k A_{j.custo}$$

- Tempo de viagem: soma dos tempos de viagem de todas os transportes da solução

$$F_2(s) = \sum_{i=1}^{k+1} T_{i.horarioChegada} - T_{i.horarioPartida}$$

4.1.4 Restrições do Problema

As seguintes restrições determinam a validade de uma solução s , de acordo com as especificações do problema e as especificações do usuário.

- Todos os destinos visitados
- Transportes conectando todos os destinos da solução
- Transporte inicial partindo do destino inicial (e transporte final retornando para ele, quando especificado)
- Após cada opção de transporte na solução, deve seguir-se uma opção de acomodação para aquele destino
- Cada duas opções subsequentes de transportes devem ter datas de partida e chegada tais que a estadia no destino respeite as especificações do usuário de datas e duração
- Cada acomodação deve ter intervalos de datas adequados às datas dos transportes relacionados ao mesmo destino
- As ordens dos destinos devem respeitar as especificações de datas absolutas e relativas do usuário

4.2 Otimização via Colônia de Formigas

O Método de Colônia de Formigas apresentado na Seção 3 é utilizado para obtenção do conjunto de soluções Pareto Ótimas do problema (ou de uma boa aproximação dele). A seguir, cada passo da implementação é descrito com mais detalhes.

Inicialização dos Feromônios Cada matriz é inicializada com o parâmetro τ_0 .

Condição de parada O número de iterações sem progresso é utilizado como critério principal. Um tempo limite de execução é utilizado como segundo critério. O número de soluções adicionado ao conjunto de elite a cada iteração é utilizado como medida de progresso.

Construção da Solução O processo inicia com uma solução vazia $s_p = \emptyset$. Iterativamente, adiciona-se a s_p um componente $c_i \in N(s_p)$, onde $N(s_p) \subseteq \mathbf{T} \cup \mathbf{A}$ é o conjunto de componentes factíveis para a solução s_p . Para ser factível, o componente deve preencher todos os requisitos definidos na Seção 4.1.4.

O componente adicionado é escolhido com probabilidade calculada de acordo com a Equação (3). Nela, L é o número de matrizes de feromônio, τ_i^l é o valor de feromônio da l -ésima matriz para o componente c_i , M é o número de heurísticas utilizadas, η_i^m o valor da m -ésima heurística do componente c_i e α_l e β_m parâmetros que regulam, respectivamente, o peso dos feromônios da matriz l e da função heurística m .

$$p(c_i|s_p) = \frac{\prod_{l=1}^L (\tau_i^l)^{\alpha_l} \cdot \prod_{m=1}^M (\eta_i^m)^{\beta_m}}{\sum_{c_j \in N(s_p)} (\prod_{l=1}^L (\tau_j^l)^{\alpha_l} \cdot \prod_{m=1}^M (\eta_j^m)^{\beta_m})}, \quad \forall c_i \in N(s_p) \quad (3)$$

Avaliação e Armazenamento de Soluções É mantido um conjunto das t melhores soluções obtidas, de acordo com índice de dominância. A cada iteração, as novas soluções encontradas são avaliadas e o conjunto é atualizado.

Atualização dos Feromônios O valor de feromônio depositado para cada componente é baseado no valor de função objetivo de todas as soluções que utilizam aquele componente. O depósito em cada matriz é baseado no respectivo valor da função objetivo daquela matriz. Dois parâmetros controlam esse processo: $\rho \in (0, 1]$ determina a taxa de evaporação dos feromônios, e γ determina a taxa de depósito. A atualização segue a Equação (4):

$$\tau_i^l = (1 - \rho)\tau_i^l + \gamma \sum_{s \in S_{upd} | c_i \in s} g^l(s) \quad (4)$$

na qual l indica o índice da matriz de feromônios, S_{upd} é o conjunto de soluções obtidas na iteração atual e $g^l(s)$ o valor de aptidão normalizado da solução s considerando o objetivo l .

Uma variação do método é considerada para fins de comparação. Nela, é realizada a cada iteração uma busca local para cada solução encontrada. Nessa busca, utiliza-se uma estrutura de

vizinhança 1-opt, considerando as possíveis variações para cada componente da solução. Essa estrutura simples foi utilizada de maneira a evitar soluções infactíveis.

5 Resultados e Discussão

Para os testes, foram geradas aleatoriamente instâncias de problemas com diferentes tamanhos. Dessa forma, é possível avaliar a variação no desempenho dos métodos à medida que a complexidade aumenta e testar os limites do sistema desenvolvido.

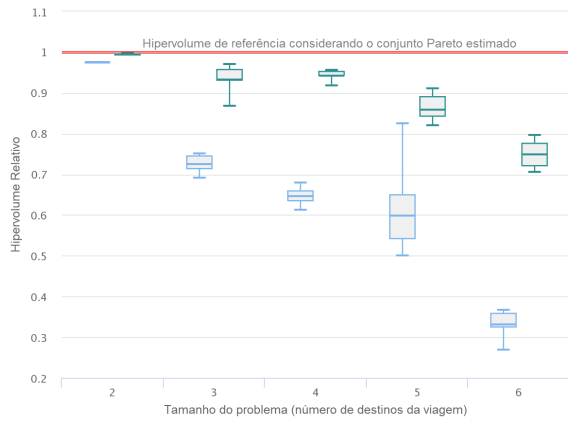
O tamanho de um problema é determinado pelo número de destinos do roteiro e do número médio de opções de transporte e acomodação para cada destino. Nas instâncias geradas, apenas o número de destinos mudou. O número médio de componentes foi mantido constante (8) para evitar variabilidade indesejada.

O número médio de opções de transporte em cada destino é afetado também pelas margens de datas estabelecidas para partida, chegada e para cada destino. Quanto mais flexíveis as margens, maior o número de opções possíveis. Em todos as instâncias, as viagens consideradas tem margem de 3 dias para partida e retorno, e não foram estabelecidas restrições de ordenação ou data para os destinos intermediários.

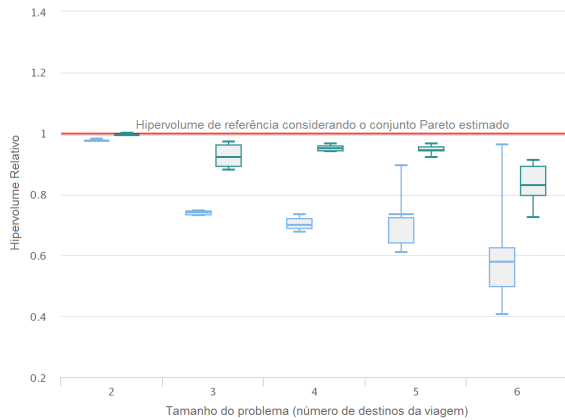
Para cada instância gerada, os algoritmos de otimização foram aplicados repetidamente com limites de execução prolongados (até 60 minutos). Os resultados combinados de todas as execuções foram utilizados para estimar a Fronteira de Pareto de cada instância. Essa fronteira estimada é utilizada como referência para os testes subsequentes.

A principal métrica utilizada para avaliar quantitativamente o resultado das execuções dos algoritmos foi a relação entre o hipervolume das soluções obtidas e o hipervolume da Fronteira de Pareto estimada. Valores próximos de 1 indicam que o conjunto de soluções encontrado se aproxima do conjunto ótimo estimado. Gráficos da distribuição de soluções no espaço de objetivos também são utilizados para avaliação qualitativa. Todos os tempos de execução indicados representam o tempo total de execução, que inclui a determinação de todas as possíveis permutações de destinos, o tempo de busca das informações no banco de dados e o tempo de otimização.

O sistema foi desenvolvido na linguagem C# na plataforma Visual Studio. Foi desenvolvida uma interface de uso web, tomando como base o framework ASP.NET v4.6. Todos os testes foram realizados em um servidor local em um computador com sistema operacional Windows 10, processador Intel(R) Core(TM) i7-3635QM 2.40 GHz e 8GB de memória RAM.



(a) Tempo de execução de 6 segundos



(b) Tempo de execução de 30 segundos

Figura 2: Qualidade do conjunto de soluções encontrado para roteiros de 2 a 6 destinos, comparando o método de busca com colônia de formigas (esquerda) e a variação que inclui busca local (direita)

5.1 Qualidade e Tempo de Execução

Verificou-se que o tempo de convergência varia significativamente com o tamanho do problema. A Figura 2 mostra o resultado de 10 execuções para problemas de 2 a 6 destinos, com tempos limites variando de 6 segundos a 30 segundos. Isso mostra que, para problemas pequenos, maiores tempos de execução não afetam a qualidade significativamente. Esses resultados também permitem estimar a qualidade esperada para problemas de diferentes tamanhos, com diferentes tempos de execução.

Além disso, é possível notar que a otimização híbrida de busca local com colônia de formigas apresenta um resultado significativamente melhor. Embora a qualidade das soluções alcançadas seja similar para problemas menores, a diferença se torna mais distinta para problemas mais complexos.

A figura 3 apresenta resultados mais detalhados. Nela, é possível observar a qualidade do algoritmo em função do tempo. Nota-se que a ve-

locidade de convergência de ambos os métodos é similar, no entanto o método com busca local converge para soluções melhores. A área sombreada mostra o intervalo de confiança de 95% dos resultados. É possível notar que a variância é similar em ambos.

5.2 Análise de Complexidade e Restrições

Para problemas com 8 ou mais destinos, os tempos de otimização e busca dos componentes cresce significativamente, motivo pelo qual não foram incluídos nos demais experimentos.

À medida que o número de destinos aumenta, o tempo de busca de componentes cresce mais rápido que o tempo de otimização. Isso acontece porque o sistema considera todas as possíveis permutações de destinos para então realizar buscas no banco de dados. A Figura 4 mostra o crescimento fatorial dos tempos de busca de componentes com o tamanho do problema. Maior flexibilidade nas datas também contribui para aumentar a complexidade desse processo. Isso é uma limitação da atual estrutura de busca de componentes, que dificulta ou até inviabiliza a solução de problemas muito complexos.

Efeitos de Restrições na Complexidade

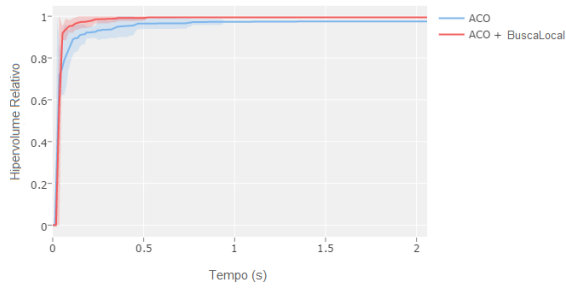
Nenhuma das instâncias utilizadas até então possuía restrições de ordenação dos destinos. Um maior número de restrições diminui a flexibilidade da rota e, como consequência, o número de soluções possíveis. Assim, problemas com mais restrições possuem menor complexidade. A Figura 5 mostra uma comparação entre problemas com 4 e 6 destinos sem restrições de ordenação e um problema com 8 destinos e restrições de ordenação para todos eles.

Os resultados indicam que, mesmo com mais destinos, a complexidade de um problema com 8 destinos ordenados é próxima a complexidade de um problema com 4 destinos não ordenados e menor que a complexidade de um problema com 6 destinos não ordenados.

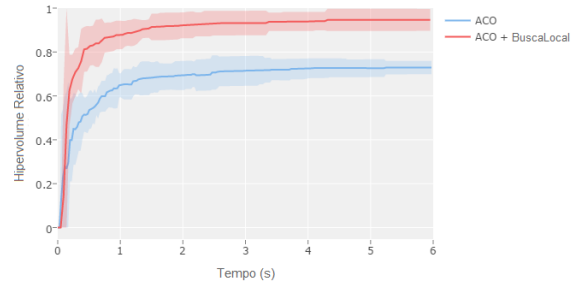
6 Conclusões

O trabalho desenvolveu com sucesso um método de otimização para roteiros de viagens capaz de buscar as melhores combinações de passagens e hotéis minimizando o custo e o tempo de viagem. O sistema desenvolvido é capaz de analisar as especificações e restrições definidas por um usuário e determinar automaticamente todas as possíveis configurações de datas e ordenações de destinos que atendem os requisitos.

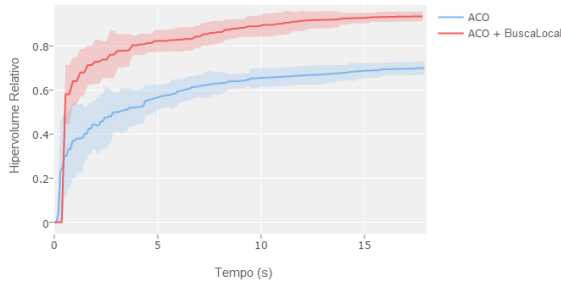
Além disso, a solução proposta apresenta uma alternativa inovadora para planejamento de viagens que se diferencia de outras já existentes por



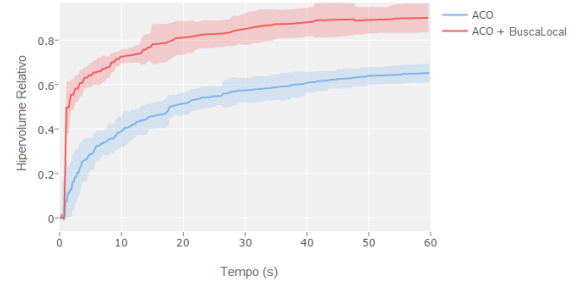
(a) Roteiro com 2 destinos



(b) Roteiro com 3 destinos



(c) Roteiro com 5 destinos



(d) Roteiro com 6 destinos

Figura 3: Qualidade do conjunto de soluções em função do tempo, para roteiros de 2 a 6 destinos. A área sombreada representa um intervalo de confiança de 95%.

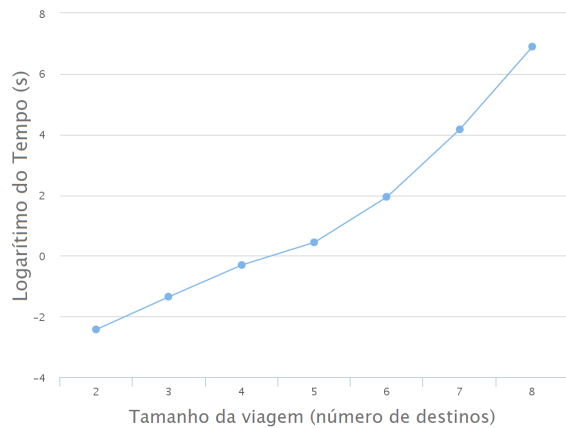


Figura 4: Logaritmo do tempo de busca de componente em função do tamanho do roteiro

ser capaz de realizar planejamentos com datas flexíveis e ordenação de destinos não rígida. Isso oferece ao usuário uma liberdade muito maior ao planejar suas viagens, e poupa muito do seu tempo ao eliminar a necessidade de conferir manualmente diferentes configurações de sua viagem.

Esse diferencial é uma melhoria significativa para a experiência de planejamento de viagens. Dessa forma, portais de vendas de passagens e hotéis online podem se beneficiar significativamente dessa inovação, obtendo com ela uma vantagem competitiva sobre concorrentes. Desse modo, há potencial para que a ferramenta desenvolvida possa impactar positivamente o mercado de tu-

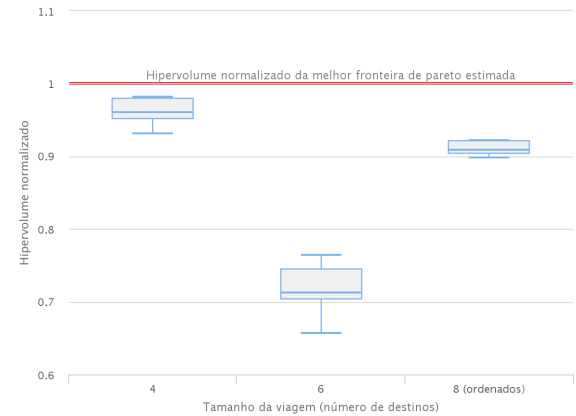


Figura 5: Qualidade da solução para problemas com 4 e 6 destinos sem restrições de ordenação e com 8 destinos com restrições de ordenação, com tempo de execução de 1 minuto

rismo online.

A principal limitação do sistema é o aumento considerável no tempo necessário para otimização de roteiros com mais destinos. Embora viagens desse porte sejam pouco comuns, ainda é desejável que o sistema seja capaz de lidar com esses casos. O problema pode ser evitado com adição de restrições na ordenação dos destinos, que reduz a complexidade do problema.

A próxima etapa do trabalho é a integração com APIs que forneçam dados de passagens e hotéis em tempo real, de modo a validar o trabalho desenvolvido com dados reais e testar casos de uso. A partir desse ponto, o sistema já poderia ser usado na prática.

Agradecimentos

Gustavo L. Vieira gostaria de agradecer o apoio da FAPEMIG.

O presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro da CAPES, CNPq e FAPEMIG.

Referências

- Angus, D. and Woodward, C. (2009). Multiple objective ant colony optimisation, *Swarm Intelligence* **3**(1): 69–85.
- Bao, J., Yang, X., Wang, B. and Wang, J. (2013). An Efficient Trip Planning Algorithm under Constraints, *2013 10th Web Information System and Application Conference* **1**: 429–434.
- Berne, C., Garcia-Gonzalez, M. and Mugica, J. (2012). How ICT shifts the power balance of tourism distribution channels, *Tourism Management* **33**(1): 205–214.
- Buhalis, D. (2004). eAirlines: strategic and tactical use of ICTs in the airline industry, *Information & Management* **41**(7): 805–825.
- Buhalis, D. and Law, R. (2008). Progress in information technology and tourism management: 20 years on and 10 years after the Internet - The state of eTourism research, *Tourism Management* **29**(4): 609–623.
- Calvo, R. W. (2000). A New Heuristic for the Traveling Salesman Problem with Time Windows, *Transportation Science* **34**(1): 113–124.
- Chen, C., Zhang, D., Guo, B., Ma, X., Pan, G. and Wu, Z. (2015). TripPlanner: Personalized trip planning leveraging heterogeneous crowdsourced digital footprints, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* **16**(3): 1259–1273.
- Chia, W. C., Yeong, L. S., Jia, F., Lee, X. and Inn, S. (2016). Trip Planning Route Optimization with Operating Hour and Duration of Stay Constraints, (Iccse): 395–400.
- Da Silva, R. F. and Urrutia, S. (2010). A General VNS heuristic for the traveling salesman problem with time windows, *Discrete Optimization* **7**(4): 203–211.
- Desrosiers, J., Dumas, Y., Solomon, M. M. and Soumis, F. (1995). Network Routing, *Handbooks in Operations Research and Management Science* **8**: 35–139.
- Dorigo, M. and Blum, C. (2005). Ant colony optimization theory: A survey, *Theoretical Computer Science* **344**(2-3): 243–278.
- Dorigo, M. and Stützle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*.
- Focacci, F., Milano, M. and Lodi, A. (1999). Solving TSP with time windows with constraints, *Proceedings of the 1999 international conference on Logic programming* pp. 515–529.
- Garcia, a., Vansteenwegen, P., Souffriau, W., Arbelaitz, O. and Linaza, M. (2009). Solving Multi Constrained Team orienteering Problems to Generate Tourist Routes.
- Gavalas, D., Konstantopoulos, C., Mastakas, K., Pantziou, G. and Vathis, N. (2015). Heuristics for the time dependent team orienteering problem: Application to tourist route planning, *Computers & Operations Research* **62**: 36–50.
- Hillier, F. S. (2010). *Handbook of Metaheuristics*, Vol. 157.
- Karabulut, K. and Tasgetiren, M. F. (2012). A discrete artificial bee colony algorithm for the traveling salesman problem with time windows, *2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation* pp. 1–7.
- Kinable, J., Cire, A. and van Hoeve, W.-J. (2015). Hybrid optimization methods for time-dependent sequencing problems, *European Journal of Operational Research* **259**(3): 887–897.
- López-Ibáñez, M. and Blum, C. (2010). Beam-ACO for the travelling salesman problem with time windows, *Computers and Operations Research* **37**(9): 1570–1583.
- Sylejmani, K. and Dika, A. (2011). Solving touristic trip planning problem by using taboo search approach, *International Journal of Computer Science Issues* **8**(5): 139–149.