

Estratégia de orientação para sistemas de hipermídia por meio de navegação colaborativa

Diogo Cezar Teixeira Batista
batista.utfpr@gmail.com

Ligia Flávia Antunes Batista
ligia@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Av. Alberto Carazzai, 1640
Cornélio Procópio, PR, Brasil

ABSTRACT

This article proposes a model of orientation for hypermedia systems users, based on the Theory of Optimization By Ant Colony. This theory was adapted to be applied on a context of collaborative navigation and some tests were made. The first results indicate that the model was useful to help users to find the information they search for.

Categories and Subject Descriptors

H. [Information Systems]: Information Interfaces and Presentation; H.5 [Information Interfaces and Presentation]: Hypertext/Hypermedia—*user issues, navigation*

General Terms

Human factors, Experimentation

Keywords

Adaptative Hypermedia, Orientation, Ant Colony Optimization, Collaborative Navigation.

1. INTRODUÇÃO

O número de sistemas hipermídia existentes implica possibilidade de acesso imediato a imensuráveis quantidades de informação, distribuídas desorganizadamente na Internet. Desta forma, justamente pela diversidade e infinidade de documentos disponíveis na *Web*, torna-se muitas vezes difícil para diversos usuários encontrar a informação desejada. As buscas realizadas geralmente trazem, em meio ao assunto procurado, muito conteúdo não relacionado ou irrelevante. Além disto, sistemas de busca funcionam apenas como filtro para o assunto desejado, sem oferecer alguma forma de assistência navegacional que oriente o usuário até seu objetivo em um determinado sítio, gerando problema de desorientação, pela sensação de não saber a direção a ser seguida. A hipermídia adaptativa é uma área que aborda

a modificação do sistema *Web* de forma a atender as necessidades de cada indivíduo, por meio da adaptação, com métodos específicos para minimizar a desorientação, dentre outros problemas.

Neste contexto, visualiza-se a proposta de navegação colaborativa como uma forma de ajuda mútua entre os usuários que estiverem navegando pelas mesmas páginas. Parte-se da premissa de que grande parte dos usuários percorrem os mesmos caminhos durante a navegação. Para modelar tal solução, baseou-se na teoria do comportamento das formigas, uma vez que a colônia trabalha em grupo e esta característica determina o sucesso de suas tarefas, notadamente a busca e transporte de alimento. Esta teoria foi proposta originalmente para resolver problemas específicos de otimização combinatorial [6, 11, 1] e tem sido utilizada para outras classes de soluções, como processamento de imagens, engenharia de software, eletro-eletrônica, medicina, entre outras [8, 14].

Pode-se fazer uma analogia do comportamento dos usuários que navegam em sistemas *Web* com formigas, em que a comunicação se dá por meio de pistas (feromônio) deixadas em caminhos já percorridos [13]. Se um caminho for muitas vezes percorrido, assume-se que é um trajeto interessante, que deve ser transmitido aos demais. Desta forma, haveria uma comunicação indireta entre os membros da colônia a fim de que todos alcancem seus objetivos, o que demonstra que o sucesso da colônia de formigas em encontrar o alimento advém de uma forma cooperativa de trabalho.

Entretanto, isto ainda não ocorre na Internet, pois os usuários não interagem para colaborar entre si na navegação. Com base nisto, o presente trabalho tem como objetivo modelar uma estratégia de orientação aos usuários por meio de navegação colaborativa. Os fundamentos em que se baseia a abordagem proposta estão detalhados na seção 2. O modelo desenvolvido é apresentado na seção 3. Os resultados observados nos testes são discutidos na seção 4. A seção 5 relata as considerações finais deste trabalho.

2. ABORDAGEM DE ORIENTAÇÃO

A capacidade de auto-organização de insetos sociais é denominada estigmergia, termo também aplicado ao comportamento de cardumes, bandos de pássaros e enxames. Esta característica é apresentada como um novo paradigma de heurísticas construtivas, *Ant Colony Optimization (ACO)* [6], inspirando trabalhos que produzem soluções otimizadas para problemas como o do caixeiro viajante e roteamento de

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, to republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

WebMedia '07, October 21-24, 2007, Gramado, RS, Brazil
Copyright 2007 ACM 978-85-7669-150-1/07/0010 ...\$5.00.

pacotes .

As formigas reais comunicam-se indiretamente por uma substância chamada feromônio, deixado no meio ambiente. Essa substância é exalada espontaneamente por todos os membros da colônia e possibilita que uma formiga escolha entre dois caminhos diferentes por uma probabilidade baseada na quantidade de feromônio presente em cada um. Logo, se há maior concentração de feromônio em determinado caminho, será este o escolhido [8], gerando um comportamento denominado autocatalítico [6].

No início do processo, quando um grupo de formigas está em busca de alimento e ainda não há um caminho traçado, aquelas que optarem pelo trajeto mais curto irão chegar ao alimento antes das outras. Desta forma, vão também retornar primeiro ao ninho e com isto, acentuar com feromônio a rota percorrida. Com o tempo, o hormônio acumula-se mais rapidamente na trilha mais curta, tornando-a a rota preferencial dos membros da colônia [8]. O feromônio evapora com o passar do tempo. Assim, um caminho que não é constantemente visitado e reforçado, tende a desaparecer, deixando de ser o selecionado pelas formigas.

Este trabalho tem seu alicerce nas técnicas de hipermídia adaptativa, as quais são brevemente tratadas na seção 2.1. A aplicação da teoria bio-inspirada do comportamento das formigas em navegação de sistemas *Web* é apresentada na seção 2.2. Alguns trabalhos relacionados são descritos de forma sucinta na seção 2.3.

2.1 Hipermídia Adaptativa

A hipermídia adaptativa tem como objetivo proporcionar conteúdo adequado ao perfil ou modelo de cada usuário. Para tal, dois componentes básicos são necessários: a máquina de adaptação, que possui as regras a serem executadas de modo a modificar apropriadamente o que será apresentado, e o modelo do usuário, que apresenta as características, interesses e objetivos daquele que for utilizar o sistema em cada momento.

A adaptação pode se dar em dois espaços distintos: apresentação e navegação. O espaço de apresentação compreende a modificação do conteúdo que será apresentado a cada usuário, enquanto que o de navegação altera a máquina abstrata do hipertexto, ou seja, as ligações (*hyperlinks*) existentes nas páginas que compõem o hiperdocumento [9], contexto em que insere-se esta proposta.

Os métodos existentes para navegação adaptativa indicam o que deve ser feito para proporcionar auxílio ao usuário. São definidos como uma generalização das técnicas existentes, sendo baseados em uma idéia clara de adaptação que pode ser apresentada em nível conceitual [2]. São assim enumerados [9]:

- Condução global: o sistema conduz o usuário na direção de seu objetivo, apresentando uma seqüência de passos;
- Condução local: sugere-se um passo de navegação que seja interessante, conforme os dados do modelo do usuário;
- Suporte à orientação global: auxilia no entendimento da estrutura de todo o hiperdocumento;
- Suporte à orientação local: ajuda na compreensão de seu posicionamento no hiperespaço, apresentando informações sobre os nós que podem ser acessados a partir do atual.

As técnicas de navegação adaptativa, por sua vez, apontam como deve ser feito o auxílio ao usuário. Fazem parte do nível de implementação em um sistema e podem ser caracterizadas por um tipo específico de representação do conhecimento e um algoritmo de adaptação [2]. Cita-se [9]:

- Orientação direta: indica em cada ponto da navegação qual o melhor nodo (página) a ser visitado a seguir. Como desvantagem, esta técnica não oferece suporte no caso do usuário não desejar seguir a sugestão do sistema;
- Classificação: ordena os *hyperlinks* de um nodo de acordo com sua relevância;
- Ocultação: consiste em restringir o espaço de navegação, ocultando os *hyperlinks* para nodos não relevantes para cada usuário;
- Anotação: tem como característica básica aumentar a informação existente nos *hyperlinks* com alguma forma de anotação ou comentário que pode dizer mais sobre o estado corrente dos nodos a que se conectam;
- Geração de *hyperlinks*: consiste em criar automaticamente ligações adicionais nos nodos. Uma das desvantagens desta técnica é que o aumento do número de *hyperlinks* nos nodos gera maior sobrecarga cognitiva e torna o hiperespaço mais complexo;
- Mapas adaptativos: têm o objetivo de ajudar o usuário a entender a estrutura do hiperespaço.

2.2 Aplicação da teoria da colônia de formigas

O relacionamento entre as técnicas de hipermídia adaptativas para navegação e a abordagem comportamental dos insetos sociais se dá fazendo analogia do indivíduo que acessa a *Web* com um certo objetivo e a formiga que percorre certas trilhas em busca de alimento. A seqüência de páginas acessada é comparada ao caminho percorrido. Neste contexto, a representação do sistema de hipertexto é a de um grafo, em que as páginas são os vértices e os *hyperlinks* são as arestas.

Em uma abordagem anteriormente proposta, implementada no sistema *AntWeb* [13], uma matriz bidimensional representa as taxas de feromônio de cada nodo para todos os outros. A quantidade de feromônio depositada em cada célula da matriz corresponde ao quão relevante uma página destino é perante uma página origem (corrente), considerando um objetivo final como página alvo. Ou, de outra forma, é um indicativo de resposta para a pergunta: estando no nodo i , dar o passo para j , é uma boa escolha a fim de alcançar a página destino d ?

Para isto, faz-se o cálculo da probabilidade de cada formiga escolher ir para a página j , estando na página i na iteração p , a partir da matriz de feromônio, utilizando uma heurística de custo baseada em tempo de obtenção e visita da página j .

Uma das limitações da abordagem *AntWeb* é que não é possível fazer testes com usuários reais, apenas com caminhos aleatórios de navegação que simulam o comportamento de formigas. Além disto, há a necessidade de determinar, para cada usuário, uma página objetivo, a partir da qual ele é conduzido, informação esta difícil de ser determinada, uma

vez que muda com o tempo pois o interesse de uma pessoa hoje, amanhã pode ser outro [13].

Na abordagem ora proposta, denominada OriAnt (Orientação por Formigas), tenta-se contornar estes problemas eliminando a necessidade de determinar a página objetivo de cada usuário e introduzindo a navegação colaborativa para comunicação indireta entre usuários da mesma categoria, tornando possível também a realização de testes com usuários reais. Para isto desenvolveu-se um modelo $M < P, G, F >$ constituído de três conjuntos de dados, representando páginas (P), grupos (G) e feromônio (F). Cada elemento possui seus subelementos de tal forma que:

- P é uma quádrupla $P < p, u, e, c >$ com os seguintes dados de todas as páginas: identificador (p), data e hora do último acesso (u), endereço (e) (URL - *Uniform Resource Locator*) e número de acessos (c);
- G é uma dupla $G < g, n >$, sendo g o identificador do grupo e n o número de acessos daquele grupo. Os grupos representam a categoria de interesse do usuário;
- F é uma quádrupla $F < o, d, g, qf >$, tendo o como identificador de uma página origem, d da página destino, g como identificador de grupo e qf como quantidade de feromônio.

Desta forma, a camada de navegação adaptativa OriAnt mantém informações de todas as páginas de um sítio *Web* em P. Os interesses dos usuários são mapeados por meio de grupos em G, como uma forma de modelagem de objetivos simplificada, uma vez que o objetivo principal deste trabalho é verificar a aplicabilidade da estratégia de orientação e não a modelagem do usuário. A representação de feromônios é feita em F, uma matriz tridimensional, indicando, para cada página a relevância do destino d para o grupo g .

A cada acesso, ocorre o acréscimo de feromônio, conforme a Equação 1. A fórmula de subtração (evaporação) de feromônio, por sua vez, é baseada no conceito de juros compostos, sendo definida pela Equação 2.

$$F_{odg} = F_{odg} + \xi \quad (1)$$

onde:

F_{odg} é quantidade de feromônio na aresta que liga a origem o ao destino d para o grupo g ;

ξ é uma constante definida pelo administrador do sistema, que significa a relevância de um acesso, o quanto um clique contribui para acentuar a trilha de feromônio.

$$F_{odg} = F_{odg} * \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right)^\tau \quad (2)$$

onde:

φ é a taxa de evaporação de feromônio, constante definida pelo administrador, dependente do tempo;

τ é o intervalo de tempo que a página ficou sem acessos, determinado pela Equação 3.

$$\tau = t_{atual} - t_{ultimoacesso} \quad (3)$$

2.3 Trabalhos relacionados

Além da abordagem proposta pelo sistema *AntWeb*, cita-se outros trabalhos relacionados a hipermídia adaptativa, como o modelo de referência para sistemas hipermídia adaptativos educacionais em que as ações do aprendiz passam por um processo de análise para identificar padrões de comportamento e suas intenções [5]. As conclusões obtidas são repassadas a um modelo de decisão de adaptação e após isto transmitidas módulo de apresentação para serem exibidas.

Um trabalho similar a este, também apresenta uma abordagem para guiar usuários inspirada no comportamento das formigas em busca de alimento, destacando de forma adaptativa os links mais significativos. A ênfase desta abordagem é fazer com que o usuário encontre caminhos curtos durante sua navegação, e para isto infere-se a página destino do usuário [12].

Em termos de educação a distância via *Web*, encontra-se a implementação de um ambiente baseado em uma metodologia para elaboração de conteúdos que baseia-se no estilo cognitivo dos alunos (holista, serialista, divergente, convergente, reflexivo e impulsivo) [3]. A adaptação é proposta com base em cada um destes estilos.

O AdaptWeb [7] também é um sistema adaptativo de educação a distância via *Web*, cuja ferramenta de adaptabilidade utiliza filtragem em documentos XML resultantes da etapa de autoria realizada pelo tutor, de forma dinâmica durante a interação do aluno com o ambiente. Tais filtros obedecem aos critérios de adaptação representados no modelo de cada aluno em particular, como: conhecimento, formação, preferências, entre outros.

3. CAMADA DE ADAPTAÇÃO

Para implementar o modelo descrito na seção 2.2, optou-se por projetar uma camada de adaptação que pudesse ser acoplada a qualquer sistema *Web* para proporcionar navegação adaptativa. A solução proposta OriAnt é atualizada a cada clique e oferece novas orientações para auxiliar o usuário.

A cada nova página carregada, seus *hyperlinks* são substituídos por meio de uma função escrita com a linguagem Javascript que altera a página a ser exibida, apenas se estes possuírem como destino uma página do mesmo domínio. Esta restrição foi imposta para definir o escopo da orientação, impedindo que a camada sugerisse ao usuário páginas externas ao site. Devido a este mecanismo de substituição de *hyperlinks*, inicialmente este modelo suporta apenas um site hospedeiro.

A arquitetura do modelo proposto está apresentada na Figura 1, em que as setas apresentam a seqüência de ações que ilustra o comportamento adaptativo da camada OriAnt a partir da navegação de um usuário, que compreende:

1. Escolher o grupo: o usuário faz a opção de seu tema (categoria) de interesse, para que a partir desta, a camada de adaptação atue. Os grupos de interesse com maior número de visitas recentes aparecem destacados na camada com fontes maiores, conforme ilustrado na Figura 2. Este dado é obtido a partir do sub-elemento n de G. Ressalta-se que os grupos são dinâmicos e mantidos pelo administrador do sistema;
2. Atualizar o banco de dados OriAnt com o dado do grupo, especificando aquele que o usuário tem interesse e incrementando o sub-elemento n de G:

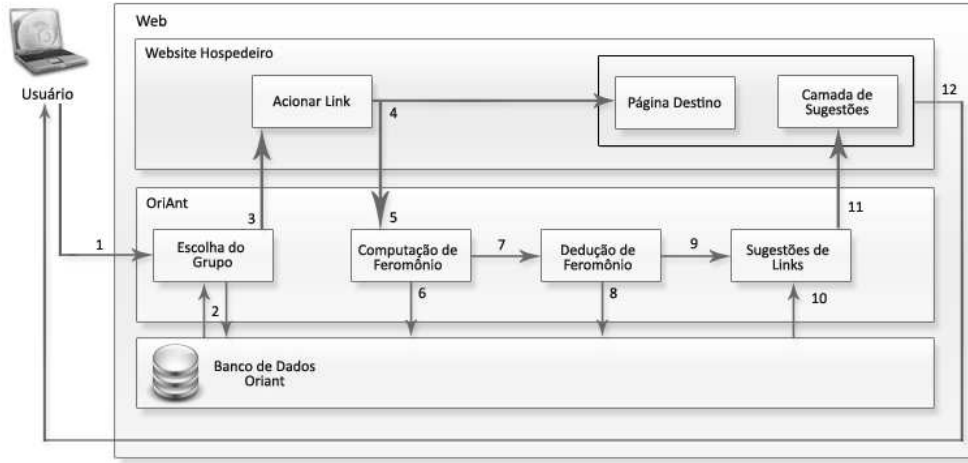


Figure 1: Arquitetura do modelo proposto

3. Navegar acionando o *hyperlink* desejado;
4. Visualizar a página destino: a camada de orientação é transparente para o usuário e portanto, a página destino é visualizada normalmente após um clique;
5. Realizar a computação de feromônio: calcular a nova quantidade de feromônio para o elemento F_{odg} conforme a equação 1;
6. Atualizar o banco de dados com o novo valor de F_{odg} (página acessada);
7. Efetuar a dedução de feromônio (evaporação): calcular a nova quantidade de feromônio para toda a matriz de feromônio conforme a equação 2;
8. Atualizar o banco de dados com os novos valores de F_{odg} para toda a matriz de feromônio;
9. Iniciar a computação dos *hyperlinks* que devem ser sugeridos conforme cálculo de relevância da página, definido pela equação 4, que representa a probabilidade daquela página ser acessada em relação às outras existentes;
10. Obter os dados do banco com relação à navegação dos outros usuários para sugerir *hyperlinks*;
11. Exibir sugestões de *hyperlinks* conforme a estratégia de orientação selecionada;
12. Aguardar que o usuário acione outro *hyperlink*.

$$\omega(o, d, g) = \frac{F_{odg}}{\sum_{t=1}^n F_{otg}} \quad (4)$$

onde:

ω é a relevância daquela página em relação às outras;
 n é o número de páginas destino a partir daquela origem.
 Enfatiza-se que, caso o usuário não faça a escolha do grupo de interesse, o laço de adaptação não é executado.

Caso ocorra troca de grupo de interesse durante a navegação, as sugestões passarão a ser computadas com base no novo grupo selecionado.

Além da informação do grupo de interesse, escolhe-se o tipo de orientação (entre objetiva, orientada e relacionada) e o contexto da orientação (esta página ou todas as páginas), que pode ser visualizado na Figura 3.

Dependendo do tipo de orientação selecionada a camada OriAnt oferece:

- Disposição objetiva: Mostrará qual é a página alvo. Essa é a página que possui mais feromônio (de um certo grupo). Essa disposição implementa a técnica de orientação direta de [9];
- Disposição orientada: Mostrará qual o caminho que deve-se seguir para chegar até a página alvo. Esse caminho é traçado com base no histórico dos caminhos percorridos de usuários do mesmo grupo e implementa o método da condução global;
- Disposição por assuntos relacionados: Mostrará quais os *hyperlinks* mais visitados pelos usuários de seu grupo. Além da página alvo outras páginas também podem interessar o usuário de determinado grupo, assim ao selecionar a exibição por assuntos relacionados, obtém-se uma lista das páginas mais relevantes para determinado. Uma ilustração de como a camada se comporta neste tipo de orientação é apresentada na Figura 3.

Dependendo do contexto de orientação, a camada de adaptação comporta-se da seguinte forma:

- Essa Página: Quando esta opção está selecionada a disposição toma como contexto a página atual, ou seja, a partir da página atual, calcula qual é a próxima página mais relevante;
- Todas as Páginas: Quando esta opção está selecionada a disposição toma como contexto todas as páginas do sistema, ou seja, dentre todas as páginas qual é a página mais relevante. Este contexto é particularmente interessante para usuários que não conhecem



Figure 2: Grupos de interesse

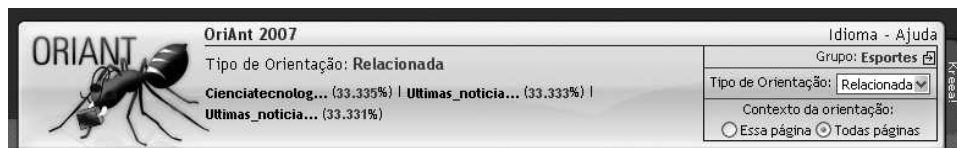


Figure 3: Orientação

a estrutura global do site em que estão navegando e já sentem-se desorientados.

A partir do cálculo da relevância de cada página em relação a atual, do tipo de orientação e do contexto, OriAnt sugere páginas, caminhos ou assuntos considerados mais apropriados para o grupo de interesse do usuário.

3.1 Tecnologias empregadas

Na implementação da camada OriAnt foram utilizados as linguagens PHP e Javascript, bem como os sistemas gerenciadores de banco de Dados (SGBDs) PostgreSQL e MySQL.

Hypertext PreProcessor (PHP) é uma linguagem de *script* para uso em servidores. O servidor faz a codificação dos *scripts* PHP, retornando um resultado em HTML para o navegador. Este tipo de interação permite algumas operações complexas, possibilitando assim a elaboração de páginas dinâmicas [4]. Neste trabalho, a linguagem PHP foi utilizada por implementar os paradigmas de orientação a objetos, tornando possível a implementação efetiva das classes projetadas e a integração com o banco de dados utilizado.

JavaScript é uma linguagem de programação que proporciona maior interatividade com os usuários. A linguagem JavaScript permite que praticamente todas as aplicações sejam manipuladas no navegador, desde validação de formulários, apresentação de novas janelas, manipulação de imagens, criação de camadas, cálculos complexos e muitas outras ações que podem tornar as páginas extremamente interativas [10].

Neste trabalho, grande parte das funcionalidades foram implementadas em JavaScript. Em particular, a substituição dos *hyperlinks*, após o término do carregamento da página hospedeira, em que são substituídos para que, ao invés do redirecionamento propriamente dito, invoquem o algoritmo de computação de feromônio e só depois acionem a página destino.

A fim de demonstrar a portabilidade do sistema proposto, dois SGBDs foram utilizados: o PostgreSQL, para armazenar os dados das tabelas do sistema proposto (OriAnt) e o MySQL, para persistência do sub-sistema de testes desenvolvido. Isso demonstra que não é necessário que o sistema hospedeiro utilize o mesmo banco de dados que o da camada de adaptação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar testes e avaliar os resultados, foi desenvolvido um site de notícias para atuar como hospedeiro ao qual

Table 1: Diferença de tempo inicial entre as páginas

pg	último-acesso	dif	qf0
1	12:31	0min	10
2	12:31	0min	20
3	12:32	1min	10
4	12:33	2min	10
5	12:35	4min	10
6	12:35	4min	20
7	12:36	5min	10
8	12:36	5min	10
9	12:37	6min	10
10	12:38	7min	20
11	12:39	8min	10
12	12:39	8min	10

foi acoplada a camada de orientação OriAnt. Inicialmente, realizou-se um teste de acompanhamento dos valores da matriz de feromônio, a fim de que fosse possível a dinâmica de acréscimo e evaporação de feromônio em cada clique.

Para analisar os resultados, foram realizados três conjuntos de testes que diferenciam-se entre si pelo intervalo em que o sistema ficou sem acessos a partir do estado inicial representado pela Tabela 1, que apresenta o horário de último acesso da página (pg) antes do início do teste na segunda coluna; a diferença de horário em relação à página 1 na terceira coluna e na coluna qf0 a quantidade de feromônio com que cada item da tabela foi inicializado.

Os parâmetros iniciais do sistema tinham os valores:

- Três grupos de interesse, sendo: 1=Últimas notícias; 2=Mundo; 3= Brasil;
- Constante que define a relevância de um acesso ξ : 10;
- Taxa de evaporação φ : 35.

Os testes foram feitos com intervalos de uma, dez e vinte e quatro horas e estão apresentados nas seções 4.1, 4.2 e 4.3 respectivamente.

4.1 Testes com intervalo de uma hora

Dados os valores iniciais de feromônio (Tabela 1), simula-se, modificando diretamente o banco de dados, uma passagem de tempo de 10 horas como se ninguém tivesse acessado o site. A partir disto são feitos acessos em quatro novas páginas. Os valores de feromônios de todas as trilhas já percorridas estão na Tabela 2, em que a coluna nomeada por origem-destino-grupo representa respectivamente os identificadores da página atual, da página que é o destino do *link*

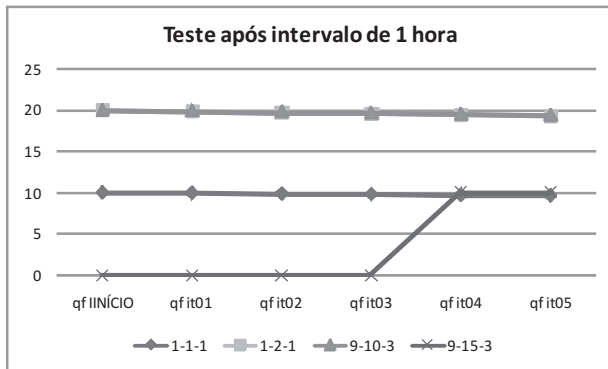
Table 2: Evolução da matriz de feromônio - 1 hora

#	origem-destino-grupo	qf it1	qf it2	qf it3	qf it4	qf it5
1	1-1-1	9,9285	9,8571	9,7856	9,7142	9,6428
2	1-2-1	19,8571	19,7143	19,5713	19,4284	19,2856
3	1-3-1	9,9297	9,8594	9,7891	9,7187	9,6484
4	1-4-1	9,9309	9,8617	9,7925	9,7233	9,6540
5	1-5-2	9,9332	9,8663	9,7994	9,7324	9,6653
6	5-6-2	19,8664	19,7327	19,5988	19,4648	19,3307
7	5-7-2	9,9343	9,8686	9,8028	9,7369	9,6710
8	5-8-2	9,9343	9,8686	9,8028	9,7369	9,6710
9	1-9-3	20	19,9989	19,9967	19,9935	19,9893
10	9-10-3	19,8734	19,7466	19,6194	19,4921	19,3646
11	9-11-3	9,93786	9,8756	9,8131	9,7506	9,688
12	9-12-3	9,9378	9,8756	9,8131	9,7506	9,688
13	9-13-3	0	10	9,9994	9,9983	9,9967
14	9-14-3	0	0	10	9,9995	9,9985
15	9-15-3	0	0	0	10	9,9994
16	9-16-3	0	0	0	0	10

acessado e do grupo de interesse do usuário. As colunas qf1 a qf5 indicam a presença de feromônio em cada uma das iterações subseqüentes, tendo como iteração um clique do usuário. As páginas que tem como valor inicial 20 unidades, indicam que aquela página foi acessada duas vezes no mesmo instante de tempo.

As linhas de 13 a 16 representam caminhos que iniciaram sem feromônio, ou seja, nunca haviam sido percorridos e por isto têm seus valores iniciados em 10 em cada iteração e não aparecem na Tabela 1. As linhas 7,8 e 11,12 apresentam os mesmos valores de τ , porque a diferença de tempo não foi relevante para a subtração do feromônio. Os valores de feromônio das linhas 2, 6 e 10, que começaram com 20 unidades, deve-se a diferença de tempo entre os seus acessos.

O gráfico da Figura 4 apresenta a evolução dos valores de feromônio para as páginas 1 (origem= 1; destino= 1, grupo= 1), 2 (origem= 1; destino= 2, grupo= 1), 10 (origem= 9; destino= 10, grupo= 3) e 15 (origem= 9; destino= 15, grupo= 3), escolhidas por representarem, respectivamente, as páginas iniciais, intermediárias e finais de acesso. Nota-se que há um pequeno decréscimo de feromônio em cada uma delas, exceto na página 15 que foi acessada pela primeira vez na terceira iteração.

**Figure 4: Gráfico dos testes após intervalo de 1 hora**

4.2 Testes com intervalo de dez horas

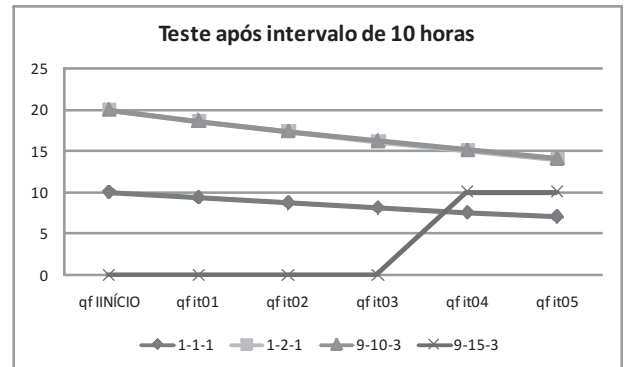
A Tabela 3 apresenta os valores de feromônio nas próximas cinco iterações a partir do estado inicial da Tabela 1,

Table 3: Evolução da matriz de feromônio - 10 horas

#	origem-destino-grupo	qf it1	qf it2	qf it3	qf it4	qf it5
1	1-1-1	9,3158	8,6781	8,0837	7,5296	7,0130
2	1-2-1	18,6316	17,3562	16,1675	15,0592	14,0261
3	1-3-1	9,3169	8,6801	8,0866	7,5331	7,0171
4	1-4-1	9,318	8,6821	8,0894	7,5366	7,0212
5	1-5-2	9,3201	8,6862	8,0951	7,5437	7,0294
6	5-6-2	18,6403	17,3724	16,1902	15,0874	14,0589
7	5-7-2	9,3212	8,6882	8,0979	7,5472	7,0335
8	5-8-2	9,3212	8,6882	8,0979	7,5472	7,0335
9	1-9-3	20	19,9992	19,9977	19,9948	19,9908
10	9-10-3	18,6468	17,3846	16,2072	15,1085	14,0836
11	9-11-3	9,3245	8,6943	8,1064	7,5578	7,0459
12	9-12-3	9,3245	8,6943	8,1064	7,5578	7,0459
13	9-13-3	0	10	9,9996	9,9985	9,997
14	9-14-3	0	0	10	9,9993	9,9981
15	9-15-3	0	0	0	10	9,9994
16	9-16-3	0	0	0	0	10

e após um intervalo de dez horas sem acesso. Percebe-se que o decréscimo dos valores é mais acentuado do que no primeiro teste, justamente pela maior evaporação ocorrida neste intervalo.

O gráfico da Figura 5 apresenta a evolução dos valores de feromônio para as mesmas páginas do gráfico da Figura 4, mas com os valores do intervalo de dez horas. Nota-se que o decréscimo de feromônio observado em cada uma delas é maior do que no teste do intervalo de uma hora, exceto, novamente, na página 15 que foi acessada pela primeira vez na terceira iteração.

**Figure 5: Gráfico dos testes após intervalo de 10 horas**

4.3 Testes com intervalo de vinte e quatro horas

A Tabela 4 apresenta os valores de feromônio nas próximas cinco iterações a partir do estado inicial da Tabela 1, e após um intervalo de vinte e quatro horas sem qualquer acesso. Percebe-se que o decréscimo dos valores é ainda mais acentuado em relação aos dois primeiros testes, devido ao maior intervalo e conseqüentemente maior evaporação.

Os dados das Tabelas 2, 3 e 4 mostram que nos intervalos maiores de tempo entre os acessos, o nível de feromônio diminui mais rapidamente e os respectivos gráficos apresentam declividade mais acentuada.

O gráfico da Figura 6 apresenta a evolução dos valores de feromônio para as mesmas páginas do gráfico da Figura

Table 4: Evolução da matriz de feromônio - 24 horas

#	origem-destino-grupo	qf it1	qf it2	qf it3	qf it4	qf it5
1	1-1-1	8,3905	7,0398	5,9063	4,9551	4,1569
2	1-2-1	16,7811	14,0797	11,8127	9,9103	8,3138
3	1-3-1	8,3915	7,0415	5,9084	4,9574	4,1593
4	1-4-1	8,3925	7,0431	5,9105	4,9598	4,1617
5	1-5-2	8,3945	7,0464	5,9146	4,9644	4,1666
6	5-6-2	16,7889	14,0929	11,8293	9,9288	8,3333
4	5-7-2	8,3954	7,0481	5,9167	4,9667	4,1691
7	5-8-2	8,3954	7,0481	5,9167	4,9667	4,1691
8	1-9-3	20	19,9991	19,9975	19,9950	19,9915
10	9-10-3	16,7948	14,1028	11,8418	9,9428	8,3479
11	9-11-3	8,3984	7,0530	5,9229	4,9737	4,1764
12	9-12-3	8,3984	7,0530	5,9229	4,9737	4,1764
13	9-13-3	0	10	9,9996	9,9987	9,9973
14	9-14-3	0	0	10	9,9995	9,9985
15	9-15-3	0	0	0	10	9,9994
16	9-16-3	0	0	0	0	10

4, mas agora com os valores do intervalo de vinte e quatro horas. Nota-se que o decréscimo de feromônio observado em cada uma delas é ainda maior do que no teste do intervalo de uma hora, exceto, novamente, na página 15 que foi acessada pela primeira vez na terceira iteração.

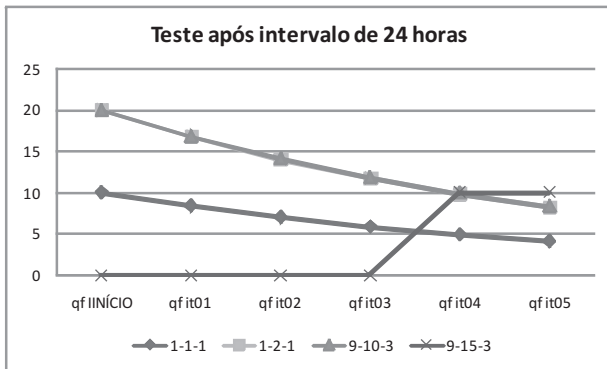


Figure 6: Gráfico dos testes após intervalo de 24 horas

Para analisar o comportamento entre as diferenças dos valores iniciais e finais de feromônio para cada uma das 12 páginas, considerando os três conjuntos de teste, foi gerado um gráfico, ilustrado pela Figura 7. Este gráfico mostra um comportamento padrão, ou seja, as equações de acréscimo e evaporação de feromônio podem ser parametrizadas pelo administrador do sistema sem a possibilidade de desestruturar a estratégia de orientação.

O quanto dura a trilha de feromônio sem ser reforçada é o que se especifica no parâmetro de evaporação φ , do sistema, que deve ser informado conforme a característica de cada *website* e o volume de acessos distribuídos no tempo. Assim, se for necessário manter a trilha de feromônio por mais tempo, deve-se reduzir a taxa de evaporação de feromônio φ . Isto está relacionado à possibilidade da navegação colaborativa entre os usuários permanecer mesmo que o sistema fique longos períodos de tempo sem acessos.

Por outro lado, se o número de visitantes é relativamente pequeno, é interessante aumentar a constante da relevância do acesso ξ , a fim de que mesmo em uma comunidade pequena de acesso, haja auxílio mútuo por meio da comuni-

cação indireta pelos feromônios.

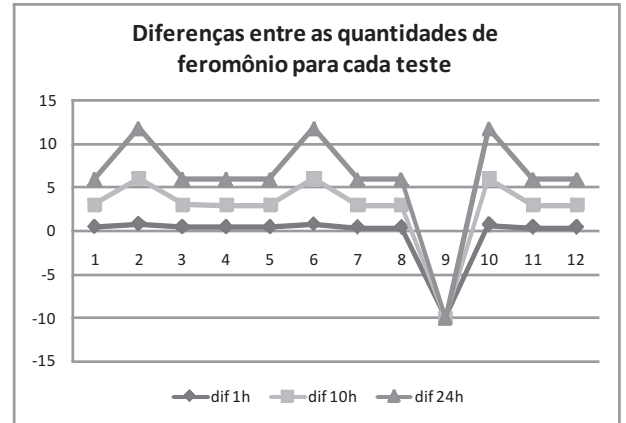


Figure 7: Diferenças entre as quantidades iniciais e finais de feromônio por página, para cada teste

Em relação à eficiência da camada OriAnt no que se refere às sugestões apresentadas, salienta-se que o intuito da presente abordagem é sugerir os caminhos que outros usuários com os mesmos interesses têm percorrido, por meio da técnica de navegação colaborativa com comunicação indireta. Desta forma, a concepção do modelo no que concerne ao auxílio oferecido não considera explicitamente o objetivo inicial de cada usuário ao visitar um determinado *site*. A premissa de que a maior parte das pessoas interessadas em uma mesma categoria temática acessa o mesmo conteúdo traz como consequência natural a adequação do resultado sugerido.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta uma estratégia de orientação por meio de navegação colaborativa para sistemas de hipermedia adaptativa. Os princípios teóricos estão fundamentados na teoria ACO, em que o comportamento dos usuários é análogo ao comportamento das formigas.

A metodologia proposta foi implementada em um protótipo OriAnt, uma camada de adaptação que pode ser acoplada em qualquer *website* para fornecer orientação aos usuários.

Os resultados dos testes realizados mostraram que é possível uma colaboração indireta entre usuários por meio do compartilhamento dos caminhos realizados durante a navegação e das páginas acessadas, independente de trilha percorrida para atingi-las. A metodologia projetada mostrou-se coerente para modelar a estratégia proposta.

Observou-se, entretanto, que alguns usuários podem não seguir o caminho mais relevante atribuído por seu grupo, podendo ocasionar uma desestabilização do sistema, a qual pode ser contornada se a maioria dos usuários de seu grupo siga o sugerido.

Dentre os trabalhos futuros, visualiza-se a necessidade de aprimorar a modelagem do usuário, bem como melhorar a eficiência do sistema, uma vez que a camada deixa o *website* hospedeiro mais lento.

Há ainda a possibilidade de se implementar outras formas de orientação, principalmente a de anotações compartilhadas em *hyperlinks* relevantes.

Em uma futura versão, espera-se também eliminar a limitação de que a camada seja limitada a apenas um site hos-

pedeiro, expandindo seu funcionamento para a barra de ferramentas de navegadores, que possa ser compartilhado por vários *sites* com uma base de dados centralizada.

Conference on Data Mining, Bethesda, Maryland, USA, April 2006. Society for Industrial and Applied Mathematics.

6. REFERENCES

- [1] A. Abraham, H. Guo, and H. Liu. *Swarm Intelligent Systems*, chapter Swarm Intelligence: Foundations, Perspectives and Applications, pages 3–25. Springer Verlag, 2006.
- [2] P. Brusilovsky. Methods and techniques of adaptative hypermedia. In *User Modeling and User-Adapted Interaction*, volume 6. Springer Netherlands, July 1996.
- [3] C. T. Candotti, M. Geller, S. R. Silveira, E. M. Marques, and M. B. Santana. Sistema hipermídia adaptativo baseado em estilos cognitivos. *RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação*, 4:25051, 2006.
- [4] L. K. da Silva, D. R. Brahm, G. Tagliassuchi, and S. Loh. Um assistente digital para responder automaticamente perguntas de usuários humanos em portais corporativos. 2003.
- [5] J. M. P. de Oliveira and C. T. Fernandes. Sistemas hipermídia adaptativos educacionais: Breve panorama e modelo de referência. *Congresso Nacional de Ambientes Hipermídia para Aprendizagem*, Junho 2004.
- [6] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Coloni. The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics*, 26(1):29–41, 1996.
- [7] I. Gasparini, M. A. Amaral, M. S. Pimenta, and J. P. M. D. Oliveira. Navegação Adaptativa no Ambiente de EAD AdaptWeb: Uso de XML na adequação de conteúdo e navegação. *Congresso Nacional de Ambientes Hipermídia para Aprendizagem*, Junho 2004.
- [8] H. S. Lopes. Fundamentos de computação evolucionária e aplicações. In K. R. Felizardo, editor, *Anais da Escola Regional de Informática da Sociedade Brasileira de Computação*, pages 52–107, Bandeirantes, PR, maio 2006. Departamento de Informática da FFALM.
- [9] L. A. M. Palazzo. Sistemas de hipermídia adaptativa. In *XXI Jornada de Atualização em Informática. XXII Congresso da SBC*, Florianópolis, julho 2002.
- [10] W. Soares. *Programando em PHP : conceitos e aplicações*. Érica, 2 edition, May 2000.
- [11] T. Sousa, A. Neves, and A. Silva. Swarm optimisation as a new tool for data mining. In *IPDPS '03: Proceedings of the 17th International Symposium on Parallel and Distributed Processing*, page 144.2, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society.
- [12] W. M. Teles, L. Weigang, and C. G. Ralha. Uma heurística para guiar os usuários da internet baseada no comportamento da formiga. *Scientia*, 14:277–292, 2003.
- [13] P. H. G. Vieira and R. G. Caixeta. Implementação da heurística da formiga para auxiliar à navegação do portal interlegis. 2004.
- [14] A. Zarnani and M. Rahgozar. Mining spatial trends by a colony of cooperative ant agents. In *SIAM*