

JAQUINEI DE OLIVEIRA

Roteamento em Redes Tolerantes a Atrasos: Intensificação versus Exploração no Processo de Busca por Melhores Caminhos

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

CURITIBA
2015

JAQUINEI DE OLIVEIRA

Roteamento em Redes Tolerantes a Atrasos: Intensificação versus Exploração no Processo de Busca por Melhores Caminhos

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Área de concentração: *Engenharia de Sistemas Computacionais*

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Barreiras Kochem Vendramin

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Anelise Munaretto Fonseca

CURITIBA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

O48r Oliveira, Jaquinei de
2015 Roteamento em redes tolerantes a atrasos : intensificação
 versus exploração no processo de busca por melhores
 caminhos / Jaquinei de Oliveira.-- 2015.
 71 p.: il.; 30 cm

 Texto em português, com resumo em inglês.
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
 Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Computação
 Aplicada, Curitiba, 2015.
 Bibliografia: p. 63-67.

 1. Protocolos de roteamento (Protocolos de redes de
 computadores). 2. Computação tolerante a falhas. 3.
 Algoritmos da formiga. 4. Códigos corretores de erros
 (Teoria da informação). 5. Redes de computação - Protocolos.
 6. Redes de computação - Confiabilidade. 7. Simulação
 (Computadores). 8. Computação - Dissertações. I. Vendramin,
 Ana Cristina Barreiras Kochem, orient. II. Fonseca, Anelise
 Munaretto, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal
 do Paraná - Programa de Pós-graduação em Computação
 Aplicada. IV. Título.

CDD 22 -- 621.39



Ministério da Educação
 Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Câmpus Curitiba
 Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 26

Aos 16 dias do mês de julho de 2015 realizou-se na sala C-301 a sessão pública de Defesa da Dissertação de Mestrado intitulada "Roteamento em Redes Tolerantes a Atrasos: Intensificação versus Exploração na busca por Melhores Caminhos", apresentada pelo aluno **Jaquinei de Oliveira** como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada, na área de concentração "Engenharia de Sistemas Computacionais", linha de pesquisa "Redes e Sistemas Distribuídos".

Constituição da Banca Examinadora:

Prof.^a Dr^a Ana Cristina Barreiras Kochem Vendramin, UTFPR - CT (Presidente) _____

Prof.^a Dr^a Anelise Munaretto Fonseca, UTFPR – CT _____

Prof.^a Dr^a Myriam Regattieri de Biase da Silva Delgado, UTFPR- CT _____

Prof. Dr. Hermes Irineu Del Monego, UTFPR - CT _____

Prof. Dr. Luiz Carlos Pessoa Albini, UFPR _____

Em conformidade com os regulamentos do Programa de Pós-Graduação em Computação aplicada e da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, o trabalho apresentado foi considerado _____ (aprovado/reprovado) pela banca examinadora. No caso de aprovação, a mesma está condicionada ao cumprimento integral das exigências da banca examinadora, registradas no verso desta ata, da entrega da versão final da dissertação em conformidade com as normas da UTFPR e da entrega da documentação necessária à elaboração do diploma, em até _____ dias desta data.

Ciente (assinatura do aluno): _____

(para uso da coordenação)

A Coordenação do PPGCA/UTFPR declara que foram cumpridos todos os requisitos exigidos pelo programa para a obtenção do título de Mestre.

Curitiba PR, ____/____/____

"A Ata de Defesa original está arquivada na Secretaria do PPGCA".

*À minha esposa Izamara Vanessa
Carniatto e à minha Família.
Sem dúvida, cumpriram e cum-
prem os papéis fundamentais para
tudo aquilo que tenho alcançado e
ainda hei de alcançar.*

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, que por intermédio de seus mensageiros, não se cansa de nos auxiliar em todos os momentos de nossas vidas.

À minha esposa, Izamara, pela compreensão e paciência durante todo o período até a conclusão desta dissertação, bem como o apoio e incentivo nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Acir José e Maria Leni, que desde cedo, me orientaram e me esclareceram a discernir o certo do errado. Sem eles, certamente não estaria concluindo mais essa etapa da minha formação.

À professora Dr^a. Ana Cristina B. K. Vendramin, pela orientação, seriedade, profissionalismo e por todo o aprendizado que me proporcionou. Pela presteza incomparável e inestimável ajuda.

À professora Dr^a. Anelise M. Fonseca, pela confiança, pelas sugestões e apontamentos sempre construtivos.

À professora Dr^a. Myriam Delgado, pelos esclarecimentos, pela gentileza, simpatia e sugestões sempre edificantes.

Aos meus amigos que, mesmo diante do distanciamento momentâneo, ainda conservam o mesmo vínculo afetivo.

À UTFPR e ao DAINF pela disponibilização da infra-estrutura necessária para execução dos experimentos requeridos para essa dissertação, em especial ao professor Dr. Carlos A. Maziero.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização dessa dissertação.

Resumo

Voltado para Redes Tolerantes a Atrasos, o protocolo de roteamento Cultural GrAnt (CGrAnt) utiliza Otimização por Colônia de Formigas para representar o espaço populacional de um Algoritmo Cultural. O protocolo CGrAnt emprega diferentes componentes de conhecimento de modo a explorar as características da rede e melhorar o encaminhamento de mensagens: Domínio, Situacional e Histórico. O conhecimento de Domínio exerce uma função central na operação do CGrAnt uma vez que ele influencia os conhecimentos Situacional e Histórico, determinando se um nó deve explorar (através da seleção de novos nós encaminhadores de mensagens) ou intensificar (através da seleção de encaminhadores promissores previamente encontrados) o espaço de busca. Através do uso de uma métrica específica que analisa a dinâmica local da mobilidade dos nós, o conhecimento de Domínio determina o status da busca por caminhos (exploração ou intensificação). O uso dessa métrica pode induzir a falso-positivos ou falso-negativos quando o protocolo CGrAnt determina a qualidade de um nó como encaminhador de mensagens. De modo a mitigar as limitações da métrica original do CGrAnt, este trabalho propõe três métricas alternativas para o conhecimento de Domínio do CGrAnt. As métricas propostas abordam aspectos da rede que não são contemplados pela abordagem utilizada pela métrica original. Os resultados mostram que as métricas propostas melhoram o desempenho do protocolo CGrAnt uma vez que apresentam redução na relação de redundância de mensagens para todos os cenários de simulação utilizados e aumentam a taxa de entrega de mensagens em dois dos cenários utilizados.

Palavras-chave: Redes Tolerantes a Atrasos, Protocolo de Roteamento, Métricas de Roteamento.

Abstract

Designed to Delay Tolerant Networks (DTNs), the Cultural GrAnt (CGrAnt) routing protocol uses Ant Colony Optimization metaheuristic to represent the population space of a Cultural Algorithm. The CGrAnt employs distinct components knowledge in order to explore the network characteristics and improve the message forwarding: Domain, Situational, and History. Domain knowledge plays a central role in the protocol operation as it influences the History and Situational knowledge, by determining if a node must explore (through the selection of new message forwarders) or exploit (through the selection of previously found message forwarders) the search space. By using a specific metric that analyzes the local dynamics of node mobility, the Domain knowledge can set the status of the path search (exploration or exploitation). The use of this metric can induce false-positives or false-negatives when the CGrAnt protocol evaluates the quality of a node as a message forwarder. In order to mitigate the limitations of the CGrAnt's original metric, this work proposes three alternative metrics to the Domain knowledge of the CGrAnt. The proposed metrics cover aspects of the network which are not addressed by the original metric. Results show the new proposed metrics increase the CGrAnt performance as they achieve lower message redundancy ratio for all the scenarios considered and higher message delivery ratio for two scenarios.

Keywords: Delay Tolerant Networks, Routing Protocol, Routing Metrics.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação	3
1.2	Objetivo Geral e Objetivos Específicos	4
1.3	Resultados Obtidos	4
1.4	Estrutura do Documento	4
2	Fundamentação Teórica	7
2.1	Redes Tolerantes a Atrasos	7
2.1.1	Tipos de protocolos para DTNs	8
2.2	Algoritmos Culturais	9
2.3	Otimização por Colônia de Formigas	11
2.4	Trabalhos Relacionados	12
2.5	Protocolo de Roteamento CGrAnt	15
2.5.1	Espaço Populacional	16
2.5.2	Espaço de Crenças	17
2.5.3	Conhecimento de Domínio e Grau de Estagnação	18
3	Novas Métricas na Busca por Melhores Caminhos	21
3.1	As Métricas Propostas	21
3.1.1	Alcance Máximo	23
3.1.2	Diversidade de Regiões Visitadas	26
3.1.3	Diversidade de Contatos	28
4	Avaliação de Desempenho	33
4.1	Medidas de Desempenho	33
4.2	Cenários de Simulação	34
4.2.1	Cenário RWP	34
4.2.2	Cenário PoI	35
4.2.3	Cenário WD	36
4.3	Parâmetros de Simulação	37
4.4	Resultados Obtidos	38
4.4.1	Cenário RWP	38
4.4.2	Cenário PoI	44
4.4.3	Cenário WD	51
4.5	Discussão final dos resultados	58

5 Conclusão	61
5.1 Considerações	61
5.2 Trabalhos Futuros	62
Apêndice A	69

Lista de Figuras

Figura 1	Componentes de um Algoritmo Cultural.	10
Figura 2	Mapeamento das Métricas nos componentes do Algoritmo Cultural.	17
Figura 3	Recorte do mapeamento das Métricas no Espaço de Crenças	22
Figura 4	Mapeamento das Métricas propostas no Conhecimento de Domínio	23
Figura 5	Ilustração do cálculo da métrica Alcance Máximo ao longo do tempo.	24
Figura 6	Ilustração do mapa da cidade de <i>Helsinki</i> . Regiões de 500 m^2	27
Figura 7	Ilustração representando a Centralidade de Grau.	29
Figura 8	Ilustração do cálculo da métrica Diversidade de Contatos.	30
Figura 9	Cenário RWP (Bluetooth): medidas de desempenho versus <i>Buffer</i>	39
Figura 10	Cenário RWP (Bluetooth): medidas de desempenho versus TTL	41
Figura 11	Cenário RWP (Wi-Fi): medidas de desempenho versus <i>Buffer</i>	42
Figura 12	Cenário RWP (Wi-Fi): medidas de desempenho versus TTL	44
Figura 13	Cenário PoI (Bluetooth): medidas de desempenho versus <i>Buffer</i>	46
Figura 14	Cenário PoI (Bluetooth): medidas de desempenho versus TTL	47
Figura 15	Cenário PoI (Wi-Fi): medidas de desempenho versus <i>Buffer</i>	49
Figura 16	Cenário PoI (Wi-Fi): medidas de desempenho versus TTL	50
Figura 17	Cenário WD (Bluetooth): medidas de desempenho versus <i>Buffer</i>	52
Figura 18	Cenário WD (Bluetooth): medidas de desempenho versus TTL	54
Figura 19	Cenário WD (Wi-Fi): medidas de desempenho versus <i>Buffer</i>	55
Figura 20	Cenário WD (Wi-Fi): medidas de desempenho versus TTL	58

Lista de Tabelas

Tabela 1	Métricas propostas para o protocolo CGrAnt	21
Tabela 2	Associação dos nós para cada grupo para o cenário RWP.	35
Tabela 3	Probabilidades de seleção de destino para o cenário PoI.	35
Tabela 4	Associação dos nós para cada grupo para o cenário WD.	36
Tabela 5	Valores do Limite Inferior e Limite Superior utilizados nas métricas	37
Tabela 6	Parâmetros utilizados para os cenários RWP, PoI e WD	38
Tabela 7	Ganho de desempenho obtido pelas métricas propostas	59
Tabela A1	Resultados obtidos: variação do Tamanho do Buffer das mensagens.	70
Tabela A2	Resultados obtidos: variação do TTL das Mensagens.	71

Lista de Algoritmos

Algoritmo 1	Pseudo-código do Algoritmo Cultural.	11
Algoritmo 2	GEst: pseudo-código para o status do indicador status_busca .	20
Algoritmo 3	AlcM: pseudo-código do para o status do indicador status_busca	26
Algoritmo 4	DivR: pseudo-código para o status do indicador status_busca . .	28
Algoritmo 5	DivC: pseudo-código para o status do indicador status_busca .	31

Lista de Símbolos

α	Fator de esquecimento utilizado pela métrica <i>AlcM</i>
β	Fator de esquecimento utilizado pela métrica <i>DivC</i>
$AlcM^i(e_k)$	Métrica Alcance Máximo do nó i no evento e_k
$d^i(e_k)$	Distância Euclidiana percorrida pelo nó i no evento e_k
$DivC^i(e_k)$	Métrica Diversidade de Contatos do nó i no evento e_k
$DivR^i(e_k)$	Métrica Diversidade de Regiões Visitadas do nó i no evento e_k
e_k	Evento e em um instante de tempo k
Li_{AlcM}	Limite inferior utilizado pela métrica <i>AlcM</i> para auxiliar na classificação de nós
Li_{DivC}	Limite inferior utilizado pela métrica <i>DivC</i> para auxiliar na classificação de nós
Li_{DivR}	Limite inferior utilizado pela métrica <i>DivR</i> para auxiliar na classificação de nós
Ls_{AlcM}	Limite superior utilizado pela métrica <i>AlcM</i> para auxiliar na classificação de nós
Ls_{DivC}	Limite superior utilizado pela métrica <i>DivC</i> para auxiliar na classificação de nós
Ls_{DivR}	Limite superior utilizado pela métrica <i>DivR</i> para auxiliar na classificação de nós
p_0	Posição inicial do nó
p_k	Posição do nó no instante k

Lista de Abreviações

AC	Algoritmos Culturais
ACO	<i>Ant Colony Optmization</i>
ACS	<i>Ant Colony System</i>
AlcM	Alcance Máximo
AS	<i>Ant System</i>
CGrAnt	<i>Cultural Greedy Ant</i>
DivC	Diversidade de Contatos
DivR	Diversidade de Regiões Visitadas
DTN	<i>Delay Tolerant Networks</i>
GEst	Grau de Estagnação
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
LEO	<i>Low Earth Orbit</i>
PoI	<i>Point of Interest</i>
PPGCA	Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada
PROPHET	<i>Probabilistic Routing using History of Encounters and Transitivity</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RWP	<i>Random WayPoint</i>
SA	<i>Simulated Annealing</i>
S-ACO	<i>Simple Ant Colony Algorithm</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
The ONE	<i>The Opportunistic Network Environment simulator</i>
TTL	<i>Time To Live</i>
WD	<i>Working Day Movement model</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>

Capítulo 1

Introdução

O conjunto de protocolos TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) utilizado na Internet possui a premissa que o ambiente no qual opera possui baixa taxa de erros, pequenos atrasos e principalmente a existência de conexão contínua fim-a-fim entre qualquer par de nós (KUROSE; ROSS, 2010; AL-FAGIH; HASSANEIN, 2012). A operação destes protocolos foi projetada para receber rápidas confirmações de entrega de mensagens de dados e controle (HUANG et al., 2008).

Há uma classe de rede denominada Redes Tolerantes a Atrasos (DTN do inglês *Delay Tolerant Networks*) onde os protocolos TCP/IP não são viáveis, pois nesta classe ocorrem constantes mudanças na topologia devido a diversos fatores como mobilidade de usuários, obstáculos, limitação de recursos, atrasos longos e/ou variáveis e alta taxa de erros (WARTHMAN, 2003). As DTNs são caracterizadas por não possuírem uma estrutura fixa, pelas conexões intermitentes e pela não garantia de um caminho fim-a-fim entre dois nós (nó origem e nó destino) (CERF et al., 2007).

Para contornar problemas de conectividade intermitente, um mecanismo do tipo armazena-transporta-encaminha é empregado nos nós intermediários da rede (WARTHMAN, 2003). Esse mecanismo é implementado por meio de uma nova camada, chamada de agregação (do inglês *bundle layer*) (HUANG et al., 2008). A camada de agregação possibilita que os nós intermediários mantenham mensagens armazenadas em seus *buffers* até que uma oportunidade de contato ocorra e que cada mensagem possa ser transportada, nó a nó, ao longo do caminho até o seu destino final. Esse mecanismo de repasse de mensagens do tipo armazena-transporta-encaminha é chamado de transferência de custódia (CERF et al., 2007).

O roteamento em DTNs é caracterizado como um problema de otimização combinatória, visto que uma solução é composta por um conjunto de nós, nos quais a permutação de seus elementos gera uma nova sequência de nós e, conseqüentemente, uma nova solução para o problema. A mudança na topologia da rede devido a partições pode acarretar mudanças no espaço de busca de tal maneira que a localização das soluções seja alterada, portanto, caracterizando o problema como dinâmico (VENDRAMIN et al., 2012b). Diante disso, o problema de roteamento em DTNs é considerado um problema desafiador.

Devido às particularidades das DTNs, a necessidade de criação de protocolos de roteamento adaptáveis às condições da rede se tornou uma área de estudo importante e que ainda apresenta uma série de questões pendentes (KHABBAZ et al., 2012).

A utilização de técnicas de Inteligência Artificial, como Otimização por Colônia de Formigas (ACO do inglês *Ant Colony Optimization*) (DORIGO, 1992) e Algoritmos Culturais (AC) (REYNOLDS, 1994) é objeto de estudo de alguns pesquisadores (VENDRAMIN et al., 2012b; ZHANG et al., 2010; SUN et al., 2009; MA et al., 2008) para solucionar o problema de encaminhamento de mensagens em DTNs.

Propostos por Reynolds (1994), os Algoritmos Culturais modelam a aquisição de conhecimento sobre a solução do problema durante o processo evolutivo. O AC compõe um sistema de herança duplo, genético (obtido do espaço populacional) e cultural (obtido do espaço de crenças) que permite obter resultados melhores que outros algoritmos evolutivos para um grande número de problemas (FRANKLIN; BERGERMAN, 2000). Segundo Reynolds (1999), o conhecimento adquirido tem como objetivo guiar a população em evolução de modo a aumentar a taxa de convergência do algoritmo. Para modelar o espaço populacional do AC, é possível utilizar qualquer modelo de computação evolucionária que implemente o conceito de população de indivíduos, como, por exemplo, Colônia de Formigas, Algoritmos Genéticos (HOLLAND, 1975), Programação Genética (KOZA, 1992), Nuvem de Partículas (KENNEDY; EBERHART, 1995), entre outros.

O ACO pode ser descrito como uma meta-heurística que se baseia no comportamento de um grupo de formigas a procura de alimento (DORIGO; CARO, 1999). Desenvolvido por Dorigo (1992), o ACO norteia-se no estudo de colônias de formigas reais com o objetivo da elaboração de um modelo para resolução de problemas de otimização. O ACO é representado por um grupo de agentes que interagem de maneira a facilitar a convergência do algoritmo para uma solução, sem ficarem presos em ótimos locais (DORIGO et al., 1996). De acordo com Vendramin (2012), o uso de ACO tem obtido bons resultados em problemas de otimização combinatória dinâmica, em especial em redes de computadores.

Em Vendramin et al. (2012b) é apresentado o protocolo de roteamento CGrAnt (do inglês *Cultural Greedy Ant*) para DTNs. Este protocolo utiliza um sistema híbrido de duas meta-heurísticas: AC e ACO. Através dessas meta-heurísticas, o protocolo CGrAnt usufrui de recursos como auto-organização, análise, seleção, memorização e reutilização de experiências obtidas ao longo do processo de busca, visando influenciar buscas futuras, acelerar o aprendizado, aumentar a probabilidade de entrega das mensagens e reduzir o número de mensagens replicadas na rede (VENDRAMIN, 2012).

O espaço populacional do AC, no contexto do CGrAnt, é representado pela meta-heurística ACO. O espaço de crenças é composto por três conhecimentos: Situacional, Histórico e Domínio. Esses conhecimentos são distribuídos nos nós da rede, diferente dos sistemas tradicionais baseados em AC em que há um elemento centralizador.

O conhecimento Situacional disponibiliza as melhores soluções locais encontradas (isto é, o(s) melhor(es) encaminhador(es) para cada mensagem).

O conhecimento Histórico possibilita a adaptação do protocolo a mudanças globais do ambiente. Esse conhecimento contém um histórico de eventos passados, que no âmbito do CGrAnt é representado pelos caminhos completos encontrados para cada nó destino (VENDRAMIN et al., 2012b).

O conhecimento de domínio possibilita a análise da dinâmica local dos nós e exerce uma função central no protocolo CGrAnt, uma vez que ele provê um balanço entre a exploração (através da seleção de novas soluções) e a intensificação (através da seleção de soluções previamente encontradas) do espaço de busca.

Uma métrica específica auxilia o conhecimento de domínio do CGrAnt na classificação da mobilidade de cada nó da rede perante a mobilidade de sua rede de relacionamentos. Com base nessa classificação, o conhecimento de domínio avalia a qualidade de cada nó como encaminhador de mensagens e influencia o status da busca por soluções determinando se esse nó deve seguir por um caminho de exploração do ambiente (via conhecimento Situacional) ou intensificação do ambiente (via conhecimento Histórico).

De modo a auxiliar no processo decisório de encaminhamento de mensagens e melhorar o desempenho do protocolo CGrAnt, o presente trabalho propõe métricas alternativas para serem utilizadas pelo conhecimento de domínio.

1.1 Motivação

A determinação da qualidade de um nó como encaminhador de mensagens é de grande importância para aumentar a probabilidade de entrega de mensagens e reduzir o número de mensagens replicadas durante o processo de roteamento em DTNs. Partindo da premissa de que as DTNs oportunistas confiam nas características da mobilidade humana para determinar oportunidades de comunicação para a entrega de mensagens (ZYBA et al., 2011; GROSSGLAUSER; TSE, 2001), o conhecimento de domínio do protocolo CGrAnt, proposto por Vendramin et al. (2012b), propõe analisar a dinâmica local da estagnação de cada nó perante a dinâmica de estagnação da sua rede de relacionamentos.

O Grau de Estagnação (*GEst*) de um nó é calculado como sendo diretamente proporcional ao tempo de pausa do nó em cada ponto de parada e inversamente proporcional à velocidade média do nó em seus percursos diários. Considera-se que quanto menos estagnado estiver um nó, maior será sua chance de visitar localizações diferentes, encontrar nós distintos e, como consequência, intermediar comunicações entre nós desconectados. Por outro lado, quanto mais estagnado, mais este nó dependerá de seus contatos para que as mensagens armazenadas em seu *buffer* possam chegar aos respectivos destinos (VENDRAMIN et al., 2012b).

De acordo com o *GEst* de cada nó, o conhecimento de domínio do CGrAnt influencia o encaminhamento das mensagens direcionando o roteamento no sentido de explorar o espaço de busca através do encaminhamento de mensagens para nós considerados mais promissores ou intensificar a busca por meio da utilização de nós pertencentes a caminhos (soluções) previamente encontrados.

O uso da métrica *GEst* no conhecimento de domínio apresenta algumas restrições que podem induzir a falso-positivos ou falso-negativos quando o CGrAnt determina a qualidade de um nó como encaminhador de mensagens. Considere o seguinte exemplo: quando um nó apresenta velocidade média de movimento alta e um baixo tempo médio de pausa, esse nó é classificado como um nó com mobilidade alta (ou baixo grau de estagnação) e, por consequência, considerado um bom encaminhador de mensagens. Entretanto, se um nó se move em círculos com pequeno raio, ele pode estar limitado a visitar poucas regiões e possivelmente não efetuar muitas conexões. Neste caso, o resultado pode ser considerado falso-positivo. Por outro lado, um nó que se move vagorosamente com longos tempos de pausa, de acordo com a classificação da métrica *GEst*, não é considerado um bom encaminhador de mensagens tendo em vista sua baixa mobilidade (ou alto grau de estagnação). Entretanto, caso esse nó visite diferentes regiões é possível que encontre diferentes nós, interligando regiões, sendo neste caso, um bom encaminhador.

De modo a mitigar as limitações da métrica *GEst*, esse trabalho propõe métricas alternativas ao conhecimento de domínio do CGrAnt.

As métricas propostas se baseiam em informações locais e têm o objetivo de contemplar situações não cobertas pela métrica *GEst* utilizada no protocolo CGrAnt, tais como o alcance máximo do nó em termos de distância relativa percorrida, o número de contatos simultâneos de cada nó e a quantidade de regiões diferentes percorridas por cada nó. Com essas métricas propostas pretende-se melhorar as decisões entre a exploração ou a intensificação durante a busca por um conjunto de soluções em DTNs.

O estudo de métricas que possam auxiliar o processo decisório para encaminhamento de mensagens e que melhorem o desempenho do protocolo CGrAnt é instigante. Ao mesmo tempo, a comprovação do ganho de desempenho aumenta a possibilidade de reutilização dessas métricas em outros protocolos de roteamento, e dessa forma, contribuindo para a comunidade científica.

1.2 Objetivo Geral e Objetivos Específicos

O objetivo geral da presente dissertação é propor métricas alternativas para serem utilizadas pelo conhecimento de domínio do protocolo de roteamento CGrAnt. As métricas propostas serão utilizadas de modo a determinar se a busca por soluções será direcionada para a exploração de novas soluções ou intensificação de soluções previamente encontradas.

O detalhamento do objetivo geral é listado abaixo na forma dos seguintes objetivos específicos:

- Utilizar preferencialmente informações locais para composição das métricas propostas;
- Abranger situações não cobertas pela métrica Grau de Estagnação;
- Aumentar a taxa de entrega de mensagens;
- Diminuir o número de mensagens replicadas;
- Avaliar o desempenho das métricas em diferentes cenários de simulações.

1.3 Resultados Obtidos

Este trabalho resultou na publicação do artigo intitulado *The DTN Routing Problem: Exploitation versus Exploration of Solutions* (OLIVEIRA et al., 2015). Este artigo foi aceito e apresentado na 81ª conferência VTC (*Vehicular Technology Conference*) da IEEE, que ocorreu na cidade de Glasgow, na Escócia, entre os dias 11 a 14 de Maio de 2015.

1.4 Estrutura do Documento

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos. Após esta introdução, o Capítulo 2 aborda o estado da arte e a fundamentação teórica, por meio da descrição

detalhada de Redes Tolerantes a Atrasos, Algoritmos Culturais, Otimização por Colônia de Formigas e do protocolo de roteamento CGrAnt para DTNs. O Capítulo 3 apresenta a proposta deste trabalho, o procedimento metodológico utilizado, a descrição dos cenários escolhidos e o detalhamento das novas métricas propostas para o protocolo CGrAnt. Os experimentos realizados e a discussão com base nos resultados obtidos são apresentados no Capítulo 4. Por fim, o Capítulo 5 traz as considerações finais e propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

O presente capítulo apresenta em detalhes os conceitos relacionados ao propósito deste trabalho: as Redes Tolerantes a Atrasos são detalhadas na Seção 2.1, os Algoritmos Culturais são apresentados na Seção 2.2 e a meta-heurística de Otimização por Colônia de Formigas é descrita na Seção 2.3. A Seção 2.4 descreve os trabalhos relacionados. Por fim, a Seção 2.5 apresenta o protocolo de roteamento CGrAnt.

2.1 Redes Tolerantes a Atrasos

Novas necessidades de comunicação surgem para determinadas aplicações onde as premissas para o bom funcionamento do conjunto de protocolos TCP/IP não estão presentes (PATIL; CHILLARGE, 2015). Diferente da Internet, estas redes são sujeitas a mudanças constantes em sua topologia devido a vários fatores como mobilidade dos nós, obstáculos, recursos limitados, entre outros (WARTHMAN, 2003). Cerf et al. (2007) caracterizam uma DTN como uma rede que não possui uma estrutura fixa, possui atrasos longos e variáveis, altas taxas de erros, conexões intermitentes e a possibilidade de não haver um caminho fim-a-fim entre um nó origem e um nó destino.

Fall (2003) menciona como exemplo de DTNs:

- **Redes móveis terrestres:** a mobilidade dos nós e a variação na intensidade do sinal de transmissão podem ocasionar particionamentos. Como exemplo, ônibus podem agir como armazenadores e encaminhadores de mensagens neste tipo de rede;
- **Redes de sensores:** essas redes são caracterizadas pela conectividade intermitente e por apresentarem restrição de recursos como processamento, espaço em *buffer* e energia. As redes de sensores possuem geralmente uma grande quantidade de nós (em geral de tamanho pequeno), espalhados no ambiente com objetivo de efetuar monitoramento;
- **Redes de satélites:** apresentam atrasos moderados e interrupções periódicas. Exemplo: satélites de baixa órbita terrestre - (LEO - *Low Earth Orbit*);
- **Redes submarinas:** apresentam interrupções periódicas e atrasos moderados devido a fatores ambientais;

- **Redes Ad-Hoc militares:** Podem operar em ambientes hostis, onde a mobilidade, fatores ambientais e destruição dos nós causam frequentes particionamentos na rede.

Com objetivo de superar os problemas causados pela conectividade intermitente, um mecanismo do tipo armazena-transporta-encaminha (do inglês *store-carry-forward*) é utilizado (WARTHMAN, 2003)(HUANG et al., 2008). Para tanto, os elementos da rede, denominados nós, possuem um *buffer* para armazenamento das mensagens até que uma oportunidade de contato com outro nó ocorra e o encaminhamento da mensagem seja possível. Para implementar este mecanismo, uma nova camada de protocolo denominada camada de agregação (*bundle layer*) é definida, visando à comutação de mensagens e armazenamento dos dados. Os elementos da rede que possuem uma camada de agregação são denominados nós DTN (WARTHMAN, 2003). Dessa maneira, a mensagem que precisa ser enviada é armazenada nos nós intermediários da rede, desde a origem até alcançar o destino final. Esta técnica armazena-transporta-encaminha é denominada de Transferência de Custódia (CERF et al., 2007).

As rotas em DTNs são geralmente construídas de forma dinâmica. Qualquer contato pode ser usado de modo oportunista como um próximo salto, objetivando que este contato eventualmente encaminhe a mensagem ao seu destino final. Visando aumentar a probabilidade de entrega de uma mensagem, o encaminhamento de réplicas de mensagens pode ser utilizado. No entanto, em cenários onde os nós possuem recursos limitados, as replicações podem causar inconvenientes, visto que mensagens de dados válidas podem competir com mensagens replicadas (VENDRAMIN, 2012). Devido às características expostas e aos problemas envolvidos, Pelusi et al. (2006) caracterizam o roteamento em DTNs como um problema desafiador.

Protocolos tradicionais não foram projetados para funcionar em DTNs (SADAT et al., 2015). Neste caso o roteamento tradicional não é recomendado. Dessa maneira, novos protocolos foram propostos (BAI et al., 2014) com o objetivo de operar em ambientes com características das Redes Tolerantes a Atrasos. Esses protocolos são classificados em categorias. A Seção 2.1.1 apresenta a classificação dos protocolos para DTNs.

2.1.1 Tipos de protocolos para DTNs

Hua et al. (2009) classifica os protocolos propostos para DTNs em três categorias: Protocolos Replicadores de Mensagens, Protocolos Baseados em Previsões sobre o Estado da Rede e Protocolos Escalonadores.

- **Protocolos Replicadores de Mensagens:** Geram várias cópias da mensagem original buscando aumentar a quantidade de mensagens entregues e até mesmo diminuir o tempo de atraso para entrega da mensagem da origem até o destino.
- **Protocolos Baseados em Previsões sobre o Estado da Rede:** Utilizam o histórico de encontros dos nós para prever quais nós possuem maior possibilidade de entregar as mensagens.
- **Protocolos Escalonadores:** Utilizam nós especiais chamados *message ferries*. Estes nós compreendem meios de transporte utilizados para transferir mensagens entre regiões desconectadas buscando melhorar a quantidade de mensagens entregues.

No contexto deste trabalho serão enfatizados os protocolos Replicadores de Mensagens e Baseados em Previsões sobre o Estado da Rede, tendo em vista a relevância destes para compreensão dos assuntos diretamente ligados a esta pesquisa.

O protocolo Epidêmico (VAHDAT; BECKER, 2000) pertence a categoria de protocolos Replicadores de Mensagens. Este protocolo procura maximizar a probabilidade de entrega das mensagens por meio da replicação das mensagens. A cada nova conexão, quando um nó encontra outro, caso a lista de mensagens disponível no *buffer* do outro nó seja diferente, ocorre a cópia das mensagens de modo que a lista de mensagens de ambos seja a mesma (ZHANG et al., 2006). Este protocolo simula uma epidemia, pois as mensagens são rapidamente distribuídas pela rede.

O protocolo PROPHET (*Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity*) (LINDGREN et al., 2003) é classificado como um protocolo pertencente à categoria de protocolos baseados em Previsões sobre o estado da rede. O encaminhamento de mensagens ocorre baseado em uma estimativa de que o nó vizinho tenha maior probabilidade de entregar a mensagem. A estimativa é baseada no histórico de encontros e transitividade dos nós.

O protocolo CGrAnt (VENDRAMIN et al., 2012a), assim como o PROPHET, pertence à categoria de protocolo baseado em Previsões sobre o estado da rede. O protocolo CGrAnt utiliza um sistema híbrido que usufrui das vantagens de um Algoritmo Cultural e de um ACO guloso para direcionar o tráfego da rede para os nós mais promissores.

Para o entendimento sobre os assuntos relacionados a proposta deste trabalho, detalhes adicionais sobre o tema Algoritmos Culturais são apresentados na Seção 2.2. O assunto Otimização por Colônia de Formigas é detalhado na Seção 2.3 e o protocolo CGrAnt é descrito Seção 2.5.

2.2 Algoritmos Culturais

Propostos por Reynolds (1994), os Algoritmos Culturais são modelos evolucionários frequentemente utilizados em problemas de otimização. O AC baseia-se na observação do processo evolutivo cultural humano e apresenta um mecanismo de evolução cultural duplo:

- **Nível micro-evolucionário:** ou espaço populacional, é composto pela população de indivíduos;
- **Nível macro-evolucionário:** ou espaço de crenças, é composto pelo conhecimento adquirido pelos indivíduos ao longo das gerações.

O nível micro-evolucionário é geralmente representado por um algoritmo baseado em população de indivíduos, por exemplo, os Algoritmos Genéticos (HOLLAND, 1975), Programação Genética (KOZA, 1992), Otimização por Nuvem de Partículas (KENNEDY; EBERHART, 1995), Otimização por Colônia de Formigas (DORIGO, 1992), entre outros. No nível macro-evolucionário, as experiências dos indivíduos extraídas do espaço populacional podem ser salvas e utilizadas para impactar a direção do processo de busca de uma maneira mais extensiva (KUREICHIK et al., 2007).

O conhecimento adquirido durante o processo evolutivo é seletivamente armazenado no espaço de crenças para ser utilizado no sentido de guiar buscas futuras. Os

indivíduos herdam características tanto do espaço populacional como do espaço de crenças (REYNOLDS, 1994).

A Figura 1 apresenta a estrutura de um AC, mostrando os componentes envolvidos.

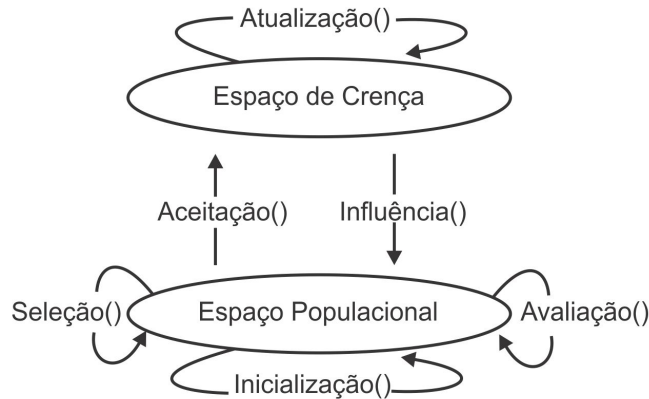


Figura 1: Componentes de um Algoritmo Cultural.

Fonte: Adaptado de Reynolds e Peng (2004).

Em cada geração, indivíduos do espaço populacional são avaliados por meio de uma função de avaliação de desempenho (*Avaliação()*). No protocolo que interliga o espaço populacional ao espaço de crenças a função de aceitação (*Aceitação()*) é utilizada para selecionar os indivíduos (informações) que poderão atualizar o espaço de crenças. A atualização do espaço de crenças utilizando o conhecimento adquirido no espaço populacional é feita pela função *Atualização()*. O conhecimento do espaço de crenças é utilizado no sentido de influenciar (*Influência()*) a seleção (*Seleção()*) dos indivíduos para as próximas gerações. Segundo Reynolds (1999), o protocolo determina o conjunto de indivíduos aceitáveis que são capazes de atualizar o espaço de crenças. Do mesmo modo, determina como as crenças influenciam o espaço populacional.

Para implementar o processo de evolução cultural, cinco tipos de conhecimento foram definidos (REYNOLDS; PENG, 2005):

- **Conhecimento Normativo:** possui um intervalo de valores considerados promissores para cada variável de decisão do problema (REYNOLDS, 1999). Esses intervalos definem valores onde boas soluções foram encontradas. Membros da população são direcionados para estes intervalos (REYNOLDS; PENG, 2005);
- **Conhecimento Situacional:** consiste em armazenar os melhores indivíduos da população (em geral, o melhor indivíduo da geração anterior) (REYNOLDS, 1999). Segundo Reynolds e Peng (2005), este conhecimento pode ser considerado como um modelo no qual os demais indivíduos podem se espelhar;
- **Conhecimento Topográfico:** consiste nas diferentes regiões do espaço de busca do problema a ser tratado. As regiões são divididas em células. Cada célula contém informações sobre o melhor indivíduo encontrado na região (REYNOLDS; PENG, 2005);
- **Conhecimento de Domínio:** aponta para conceitos, regras, princípios que moldam o domínio do problema (KERAMATI et al., 2011);

- **Conhecimento Histórico:** monitora o processo de busca e grava eventos importantes (REYNOLDS; PENG, 2005). Consiste nas últimas k mudanças significativas na direção da busca.

Reynolds e Peng (2005) sugerem que esses cinco conhecimentos são completos e que qualquer conhecimento cultural em um AC possa ser expresso como uma combinação destes.

O Algoritmo 1 apresenta o pseudo-código de um AC. Indivíduos são primeiramente avaliados por meio de uma função de avaliação (*Avaliar()*). Esta função avalia a experiência deste indivíduo na resolução de problemas. A função de aceitação (*Aceitar()*) determina quais indivíduos na população atual são capazes de influenciar/contribuir para o espaço de crenças através da função de influência (*Influenciar()*). Os conhecimentos armazenados no espaço de crenças serão utilizados para influenciar a população na próxima geração (REYNOLDS, 1999).

Algoritmo 1: Pseudo-código do Algoritmo Cultural.

Fonte: Adaptado de Reynolds (1999).

```

1  $t \leftarrow 0$ ;
2 Inicializar a população  $POP(t)$ ;
3 Inicializar o espaço de crenças  $BLF(t)$ ;
4 enquanto (condição de término não atingida) faça
5   | Avaliar a população  $POP(t)$ ;
6   |  $Atualizar(BLF(t), Aceitar(POP(t)))$ ;
7   |  $t \leftarrow t + 1$ ;
8   |  $Selecionar POP(t)$  de  $POP(t - 1)$ ;
9 fim

```

Conforme descrito anteriormente, para modelar o espaço populacional de um AC, qualquer modelo de computação evolucionária que implemente o conceito de população de indivíduos pode ser usado (REYNOLDS, 1999). No contexto do protocolo CGrAnt, foco deste trabalho, o espaço populacional do AC é representado pela meta-heurística ACO que é apresentada em detalhes na próxima seção.

2.3 Otimização por Colônia de Formigas

ACO é uma meta-heurística desenvolvida por Dorigo (1992) que se baseia no comportamento de um grupo de formigas buscando encontrar alimento.

Experimentos efetuados por entomologistas relacionados à capacidade das formigas de encontrarem o menor caminho entre o ninho e a fonte de alimento causaram o desenvolvimento de um modelo formal para descrição deste comportamento. Um dos experimentos consistia em uma ponte com dois caminhos com comprimentos distintos separando o ninho de uma fonte de alimento. Observou-se que inicialmente os caminhos eram escolhidos aleatoriamente, mas que a partir de um tempo a quantidade de formigas utilizando a ponte de menor comprimento aumentava. Verificou-se que embora a quantidade de feromônio¹ depositada nos caminhos fosse sempre a mesma, as formigas que iam

¹Substância química secretada por espécies de animais com o objetivo de comunicação entre indivíduos da mesma espécie (SOUZA, 2007).

pelo caminho mais curto, chegavam mais rapidamente ao ninho, retornando a fonte de alimento e depositando dessa forma mais feromônio nesse caminho (GOSS et al., 1989).

Diante do exposto, foi descoberta a probabilidade de uma formiga escolher um caminho A em um tempo $t + 1$:

$$P_A(t + 1) = \frac{(c + n_A(t))^a}{(c + n_A(t))^a + (c + n_B(t))^a} = 1 - P_B(t + 1), \quad (2.1)$$

onde:

- $n_A(t)$ e $n_B(t)$ representam o número de formigas nos caminhos A e B no tempo t ;
- c especifica o nível de atração de uma ponte ainda não explorada;
- a indica a tendência em considerar a quantidade de feromônio no processo de decisão. Quanto maior o valor, maior a probabilidade da próxima formiga seguir o caminho com maior concentração de feromônio;
- P_B representa a probabilidade da formiga escolher o caminho B em um tempo $t + 1$.

Diante desta descoberta, surgiram algoritmos baseados no comportamento de formigas como em (DORIGO, 1992) e (DORIGO et al., 1996), entre outros. Dorigo (1992) apresenta o *Ant System* (AS), o primeiro algoritmo que simula o comportamento de formigas. Buscando melhorar o desempenho do algoritmo AS, o algoritmo *Ant Colony System* (ACS) é apresentado por Gambardella e Dorigo (1996). Em Dorigo e Caro (1999) foi apresentado o algoritmo S-ACO (do inglês *Simple Ant Colony Algorithm*) cujo objetivo é encontrar a rota mais curta entre dois vértices de um grafo.

2.4 Trabalhos Relacionados

Ma et al. (2008) apresentam o uso do AC no contexto de roteamento de Agentes Móveis em uma topologia fixa de nós. O protocolo proposto consiste em encontrar um caminho ótimo com várias restrições de um nó de origem até um destino. As restrições estão relacionadas ao peso de cada enlace de comunicação entre dois nós, tais como: largura de banda requerida para transportar os dados do agente ao longo do caminho, atraso mínimo de propagação nos enlaces e taxa mínima de perda de pacotes. O AC é utilizado em conjunto com o algoritmo de Têmpera Simulada²(SA do inglês *Simulated Annealing*) (HASANÇEBI; ERBATUR, 2002) possibilitando encontrar soluções ótimas que são utilizadas para atualização do espaço de crenças do AC. O uso de SA possibilita obter uma taxa de convergência alta e redução do tempo de busca. Os conhecimentos Situacional e Normativo são utilizados. Testes efetuados em ambiente de simulação variando o número de nós e a largura de banda, comparam o uso de Algoritmos Culturais em conjunto com Têmpera Simulada (AC-SA) com Algoritmos Genéticos e ACO. Os resultados obtidos com o uso de AC-SA obtiveram desempenho melhor em termos de perda de pacotes e número de iterações versus solução ótima. Segundo Ma et al. (2008), os testes executados

²Técnica de busca local e probabilística que se fundamenta em uma analogia com a termodinâmica, se inspira no processo térmico de recozimento, utilizado em metalurgia para obtenção de estados de baixa energia em um sólido (KIRKPATRICK et al., 1983).

demonstram que o algoritmo proposto garante a qualidade das soluções ótimas e também apresenta uma maior rapidez na convergência.

Em Zhang et al. (2010) é proposto um algoritmo de Roteamento de Qualidade de Serviço (QoS do inglês *Quality of Service*) baseado em AC e ACO. O algoritmo foi testado em uma rede com topologia fixa de nós e comparado experimentalmente com dois outros algoritmos, ambos utilizando somente ACO como técnica para resolução do problema de QoS. O algoritmo utiliza os conhecimentos Situacional e Normativo para representar o espaço de crenças centralizado do AC. Os resultados obtidos através de simulação indicam que o algoritmo obtém um resultado satisfatório no que se refere à velocidade de convergência para encontrar o ótimo global.

Vendramin et al. (2012a) apresenta um novo protocolo de roteamento para DTNs oportunistas chamado *Cultural Greedy Ant* ou CGrAnt. O protocolo CGrAnt utiliza um sistema híbrido que usufrui das vantagens de um AC e de um ACO guloso para direcionar o tráfego da rede para os nós mais promissores. Guiado por três conhecimentos distintos (Domínio, Histórico e Situacional), o protocolo CGrAnt obtém informações oportunistas sobre a conectividade dos nós e determina as melhores rotas que cada mensagem deve seguir enquanto limita a relação de redundância de mensagens. O conhecimento de Domínio é crucial para a operação do protocolo visto que ele mantém o CGrAnt atualizado sobre a dinâmica local da mobilidade dos nós. Com base nessa informação e em heurísticas específicas de um problema de roteamento em DTNs, o conhecimento de Domínio auxilia na decisão entre explorar novas soluções (rotas) ou intensificar soluções previamente encontradas. O protocolo CGrAnt é comparado com os protocolos de roteamento Epidêmico e PROPHET em dois cenários de mobilidade distintos. Os resultados obtidos por meio do uso do Simulador para Ambientes de Redes Oportunistas The ONE (KERÄNEN et al., 2009) mostram que o protocolo CGrAnt obteve melhores resultados que os obtidos pelos protocolos PROPHET e Epidêmico no que se refere à taxa de entrega de mensagens e relação de replicação de mensagens.

Em Ababou et al. (2014) é apresentado um protocolo para DTN denominado BeeAntDTN que utiliza as meta-heurísticas ACO e Colônia Artificial de Abelhas (ABC do inglês *Artificial Bee Colony*) (KARABOGA, 2005) como proposta para roteamento em DTNs. A meta-heurística ABC é utilizada para coletar informações (fase 1) enquanto que a meta-heurística ACO (fase 2) é utilizada para encontrar os melhores caminhos para encaminhar as mensagens até os seus destinos. Na fase 1, as abelhas artificiais são responsáveis por criar e manter uma lista com possíveis nós encaminhadores considerados promissores, algumas tabelas com informações sobre as abelhas utilizadas para coleta de dados, informações sobre o *buffer* e energia dos nós. Na fase 2, a informação coletada previamente é utilizada para selecionar os nós encaminhadores para as mensagens. A meta-heurística ACO utiliza as informações coletadas pelas abelhas combinadas com o grau de conectividade dos nós para calcular a probabilidade de cada possível nó encaminhar a mensagem para o seu destino. Os autores comparam o desempenho do protocolo BeeAntDTN com os protocolos Epidêmico, PROPHET e *Spray and Wait*. As medidas de desempenho utilizadas foram: taxa de entrega, relação de redundância e latência média.

Johari e Mahmood (2014) apresentam o protocolo GAACO (*Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization*). O protocolo GAACO utiliza a meta-heurística ACO em conjunto com Algoritmos Genéticos (GA do inglês *Genetic Algorithm*) (HOLLAND, 1975) como uma proposta de roteamento para Redes Oportunistas. Caso ocorra uma

das seguintes situações, o protocolo GAACO seleciona nós mais apropriados buscando manter os caminhos disponíveis que permitam a entrega das mensagens até seus destinos: desconexão de nós pertencentes a um caminho encontrado; a quantidade de energia dos nós intermediários sofram quedas consideráveis; ou o *buffer* dos nós atinja seu limite de capacidade de armazenamento. Enquanto o ACO envia formigas para encontrarem novos caminhos para que a mensagem chegue até seu destino, o AG opera de modo a selecionar novos caminhos que apresentem melhores qualidades, isto é, caminhos compostos por nós que possuam espaço em *buffer* e quantidade de energia suficiente para entregar as mensagens aos seus destinos. O GAACO está dividido em quatro etapas: (1) envio inicial das formigas em busca de rotas para encontrar caminhos para as mensagens; (2) otimização das rotas, (3) saída do ACO como entrada para o GA encontrar novas rotas que sejam mais promissoras; e (4) mudança dinâmica de caminhos, isto é, há uma verificação dos caminhos encontrados de modo a avaliar e selecionar novos nós em substituição aos nós que não possuam as características consideradas aceitáveis para as rotas já existentes. Nos testes executados, o protocolo GAACO é comparado com o protocolo Epidêmico em relação às medidas de desempenho taxa de entrega, consumo de energia e vazão média. Os autores não mencionam o desempenho do protocolo GAACO sob o aspecto da medida de desempenho Relação de Redundância.

Em Ababou et al. (2015) é apresentado o protocolo ACDTN que utiliza inteligência coletiva por meio do uso da meta-heurística ACO. A proposta do protocolo ACDTN se baseia no conhecimento prévio da data/hora e da coordenada de destino dos nós (utilizado para o cálculo de visibilidade). A informação do grau de conectividade dos nós (usado para o cálculo do feromônio), e sua agenda (data/hora e coordenada de destino) é atualizada a cada momento que os nós se encontram e utilizada para a escolha dos melhores encaminhadores. O cálculo da visibilidade é feito por meio da distância euclidiana utilizando as coordenadas entre os compromissos definidos na agenda dos nós e a média do custo, baseada na distância entre a localização do compromisso e o tempo de cada compromisso. O protocolo ACDTN busca encaminhar as mensagens através da escolha de nós que possuam probabilidade de transição maior para entregar a mensagem até o seu destino final. Para efetuar o cálculo da função de probabilidade de transição, é utilizada a informação das coordenadas geográficas dos compromissos, do tempo e frequência de encontros entre os nós e do feromônio. O protocolo ACDTN foi testado e comparado com os protocolos Epidêmico, PROPHET e *Spray and Wait* (SPYROPOULOS et al., 2005) apresentando as medidas de desempenho taxa de entrega, número de nós sem energia e média de energia restante dos nós. Os autores não mencionam o desempenho do ACDTN sob o aspecto da medida de desempenho Relação de Redundância.

Os protocolos apresentados por Ababou et al. (2014), Johari e Mahmood (2014) e Ababou et al. (2015) não utilizam o conceito de métricas que possibilitem auxiliar na decisão entre intensificar rotas previamente encontradas ou explorar novas rotas, tão pouco efetuam uma análise comparativa entre possíveis métricas que possam auxiliar nessa decisão.

O presente trabalho propõe métricas alternativas para serem utilizadas pelo conhecimento de Domínio do protocolo de roteamento CGrAnt, descrito detalhadamente na Seção 2.5, que permitam avaliar aspectos de mobilidade não contemplados pelos protocolos descritos anteriormente.

2.5 Protocolo de Roteamento CGrAnt

Desenvolvido por Vendramin (2012), o protocolo de roteamento CGrAnt (do inglês *Cultural Greedy Ant*) para DTNs utiliza um sistema híbrido baseado em AC e ACO. O AC é utilizado para armazenar informações adquiridas durante o processo de busca que são utilizadas no sentido de guiar a população e acelerar o aprendizado, objetivando desse modo o refinamento da população resultante deste processo.

Como mencionado na Seção 2.2, o AC possui dois espaços: o espaço de crenças e o espaço populacional. O espaço populacional do CGrAnt é representado pela meta-heurística ACO. No entanto, diferentemente dos sistemas tradicionais baseados em AC, no protocolo CGrAnt o espaço de crenças (composto pelos conhecimentos situacional, histórico e de domínio) é distribuído nos nós da rede. Dessa maneira, o conhecimento adquirido está distribuído em diferentes espaços de crenças. Outra diferença é que apenas uma parte do espaço populacional é conhecida por cada nó da rede.

No protocolo CGrAnt a comunicação entre o espaço populacional e o espaço de crenças pode ocorrer de forma direta ou indireta:

- **Forma direta:** via função de influência como no AC tradicional;
- **Forma indireta:** via função de aceitação e atualização através de alguns indicadores e métrica específicos do CGrAnt .

Vendramin (2012) divide as métricas utilizadas pelo protocolo CGrAnt em básicas e compostas, conforme origem e escopo da informação obtida no processo de busca por soluções. Nas métricas básicas, a informação é obtida diretamente do espaço populacional ou dos nós. Nas métricas compostas, a informação é obtida a partir da manipulação das métricas básicas.

Relacionadas ao escopo da informação, as métricas são classificadas em locais e globais: nas métricas locais, a informação é específica dos nós e de sua vizinhança a um salto; nas métricas globais, a informação é sobre caminhos completos construídos.

A subdivisão das métricas está estruturada da seguinte forma (VENDRAMIN, 2012):

- **Métricas Básicas**

- Locais

- * *FEnc*: Frequência de Encontro entre um par de nós;
- * *DEnc*: Duração de Encontro entre um par de nós;
- * *QInd*: Qualidade Individual de um nó;
- * *GPar*: Grau de Parentesco de um nó perante uma mensagem;
- * *GEst*: Grau de Estagnação ou Imobilidade de um nó.

- Globais

- * *NSaltos*: Número de Saltos em um caminho completo;
- * *UInterm*: Utilidade de Intermediação de um nó em um caminho completo.

- **Métricas Compostas**

- Qualidade do Caminho: função de $QInd$ e $NSaltos$;
- Proximidade Social: função de $FEnc$ e $DEnc$;
- Utilidade do Nó: função de $GPar$, da Qualidade do caminho e da Proximidade Social;
- Grau de Estagnação da rede de relacionamentos de um nó ($GEst_{rede}$): função de $GEst$;
- Utilidade de Intermediação da rede de relacionamentos de um nó ($UInterm_{rede}$): função de $UInterm$.

Além das métricas básicas e compostas, o protocolo CGrAnt faz uso de dois indicadores (VENDRAMIN, 2012):

- **melhor_enc**: armazena o melhor encaminhador corrente para uma dada mensagem m ;
- **status_busca**: auxilia na decisão de quando é necessário explorar ou intensificar o espaço de busca. Para explorar o espaço de busca o protocolo seleciona novas soluções, enquanto para intensificar o espaço de busca, soluções boas previamente encontradas são selecionadas.

A Figura 2 ilustra o mapeamento das Métricas no Espaço populacional e no Espaço de Crenças que compõem o protocolo CGrAnt.

Vendramin (2012) salienta que dadas as características de intermitência das DTNs, quando informações globais não estão acessíveis, o encaminhamento de mensagens pode ser realizado unicamente por informações armazenadas nas métricas locais.

A Seção 2.5.1 apresenta mais detalhes sobre o espaço Populacional e na Seção 2.5.2 serão vistos os conhecimentos que compõem o espaço de Crenças do protocolo CGrAnt.

2.5.1 Espaço Populacional

O espaço populacional no protocolo CGrAnt é representado pela meta-herística ACO, ou seja, formado por formigas, que buscam encontrar caminhos completos para cada mensagem m . A mensagem m é associada a um conjunto para cada par, representado por origem (o_m) e destino (d_m).

Os conjuntos de caminhos completos (C_m) são gerados sob demanda e podem ser representados conforme a Equação 2.2 (VENDRAMIN, 2012):

$$cam_{o,d}^k = \{o_m, j1_m^k, \dots, jc_m^k, \dots, d_m\} \quad (2.2)$$

onde:

- $k = 1, \dots, K_m$ indica a k -ésima formiga da colônia.
- K_m define o número de formigas geradas que estão associadas à mensagem m , onde $m, m = 1, \dots, M$;
- M o total de mensagens que precisam ser encaminhadas durante todo o processo de busca por caminhos.

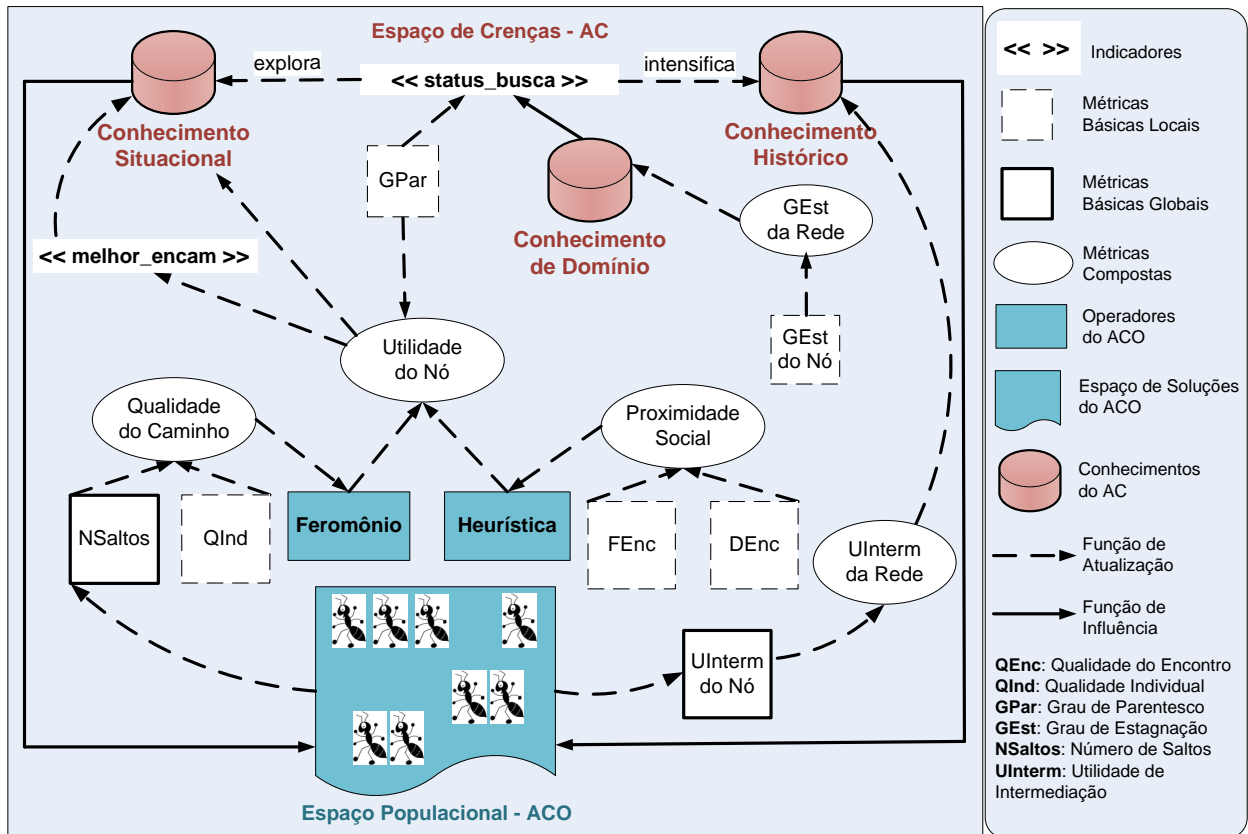


Figura 2: Mapeamento das Métricas no Espaço Populacional e no Espaço de Crenças.
Fonte: Vendramin (2012).

Dessa maneira, quando uma formiga k alcança o destino d_m , é obtido um caminho completo, que consiste em uma seqüência de encaminhamentos de uma mensagem m .

A quantidade K de formigas geradas é determinada dinamicamente pelo protocolo CGrAnt.

2.5.2 Espaço de Crenças

O protocolo CGrAnt utiliza três conhecimentos em seu AC: conhecimento de Domínio, conhecimento Situacional e conhecimento Histórico. Esses conhecimentos estão distribuídos nos nós da rede.

O conhecimento de Domínio foi introduzido para auxiliar o protocolo CGrAnt a manter-se atualizado sobre a dinâmica local da mobilidade dos nós perante a mobilidade de sua rede de relacionamentos. Com base nesta informação e em uma heurística específica do domínio das DTNs, o conhecimento de domínio influencia o indicador **status_busca** e portanto, é capaz de decidir se o encaminhamento da mensagem seguirá por um caminho de exploração ou intensificação (VENDRAMIN, 2012).

O conhecimento Situacional possibilita manter armazenadas as melhores soluções encontradas até o momento. Por meio destas soluções é possível influenciar o processo de busca. No AC do protocolo CGrAnt, como a informação está distribuída entre os nós da rede, o conhecimento Situacional é representado pelo melhor encaminhador de cada mensagem encontrado até o momento.

O conhecimento Histórico por sua vez, armazena a informação, quando disponível, sobre o caminho completo até o destino. O objetivo deste conhecimento é permitir ao protocolo uma maneira de se adaptar a mudanças ocorridas no ambiente, e dessa maneira, ser capaz de refletir dinâmicas globais.

Na próxima seção será apresentada a relação entre o conhecimento de Domínio, base para este trabalho e a métrica Grau de Estagnação, que será substituída por métricas alternativas que serão detalhas posteriormente neste documento.

2.5.3 Conhecimento de Domínio e Grau de Estagnação

Partindo da premissa de que as DTNs oportunistas confiam nas características da mobilidade humana para determinar oportunidades de comunicação para a entrega de mensagens (ZYBA et al., 2011) (GROSSGLAUSER; TSE, 2001), o conhecimento de Domínio do protocolo CGrAnt, proposto por Vendramin et al. (2012b), propõe analisar a dinâmica local da estagnação de cada nó perante a dinâmica de estagnação da sua rede de relacionamentos.

O grau de estagnação de um nó ($GEst$) considera a mobilidade de um nó por meio de dois aspectos: (1) tempo médio de pausa de cada nó, em segundos, em cada local visitado; e (2) o inverso da velocidade média de movimento de um nó (VENDRAMIN, 2012).

A Equação 2.3 apresenta o cálculo do grau de estagnação de um nó:

$$GEst_i(t) = \left(\frac{TMP_i}{VM_i} \right) \quad (2.3)$$

onde:

- TMP_i : tempo médio de pausa em segundos do nó i nos pontos de parada;
- VM_i : velocidade média de movimento em metros por segundo do nó i .

A atualização dos valores do tempo médio de pausa (TMP_i) e da velocidade média de movimento (VM_i) ocorre sempre que um novo percurso é finalizado pelo nó, ou seja, quando o nó se movimenta de um ponto a outro, com um período de pausa no seu destino.

O grau de estagnação médio da rede de relacionamentos de um nó i utiliza como base uma lista de graus de estagnação ($Lista_{Estag}^i(t)$), e é definido pela Equação 2.4:

$$GEst_{rede}^i(t) = \frac{\sum_{j \in Lista_{Estag}^i(t)} GEst_j}{|Lista_{Estag}^i(t)|} \quad (2.4)$$

onde:

- $Lista_{Estag}^i(t)$: lista dos graus de estagnação dos nós j encontrados por i até o instante t ;
- $GEst_j$: grau de estagnação do nó j , vizinho do nó i .

Segundo Vendramin (2012), ao comparar o grau de estagnação do nó i ($GEst_i$) com o grau de estagnação médio de sua rede de relacionamentos ($GEst_{rede}^i$), o conhecimento

de Domínio é capaz de caracterizar três tipos de nós na rede e armazenar esse tipo de nó no conhecimento de Domínio do nó i (Dom^i):

1. $Dom^i =$ estagnação alta: a caracterização de um nó i , como um nó com grau de estagnação alto, ocorre quando:

$$GEst_i > (GEst_{rede}^i + Ls), \text{ se } GEst_{rede}^i \text{ é determinado e não nulo,} \quad (2.5)$$

onde:

- $GEst_{rede}^i$ e $GEst_i$ estão definidos nas Equações 2.4 e 2.3, respectivamente;
 - Ls é o valor acrescentado ao grau de estagnação médio da rede de modo a detectar os nós que estão com grau de estagnação alto.
2. $Dom^i =$ estagnação baixa: a caracterização de um nó i , como um nó com grau de estagnação baixo, ocorre quando:

$$GEst_i < (GEst_{rede}^i - Li), \text{ se } GEst_{rede}^i \text{ é determinado e não nulo,} \quad (2.6)$$

onde:

- $GEst_{rede}^i$ e $GEst_i$: estão definidos nas Equações 2.4 e 2.3, respectivamente;
 - Li : valor subtraído do grau de estagnação médio da rede de modo a detectar os nós que estão com grau de estagnação baixo.
3. $Dom^i =$ estagnação média: a caracterização de um nó i , como um nó com grau de estagnação médio ocorrerá se os critérios definidos nas Equações 2.5 e 2.6 não forem satisfeitos.

Os valores Li e Ls , são utilizados para auxiliar na caracterização dos nós como nós do tipo estagnação alta, média ou baixa. São valores constantes, definidos de maneira empírica.

Com base na classificação do grau de estagnação de um nó perante o grau de estagnação da sua rede de relacionamentos, o conhecimento de domínio permite detectar quando um nó deve explorar ou intensificar o espaço de busca. A motivação para o uso do grau de estagnação dos nós para determinar o status da busca por soluções é que quanto menos estagnado estiver um nó, maior será sua chance de visitar locais diferentes, encontrar nós distintos e, conseqüentemente, intermediar comunicações entre nós desconectados. Ao contrário, quanto mais estagnado estiver um nó, mais este dependerá de seus contatos para que mensagens armazenadas em seu *buffer* possam chegar aos seus respectivos destinos.

Considerando o que foi exposto, o conhecimento de domínio do protocolo CGrAnt utiliza o Algoritmo 2 para determinar o status do indicador **status_busca** para decisão entre explorar ou intensificar o espaço de busca.

Algoritmo 2: Pseudo-código do Algoritmo utilizado para determinar o status do indicador **status_busca** usando a classificação do *GEst* do nó.

Fonte: Adaptado de (VENDRAMIN, 2012).

```

1 if grau de estagnação = alto then
2   | explora e intensifica o espaço da busca;
3 else if grau de estagnação = baixo then
4   | não encaminha as mensagens para outros nós;
5   | (não explora nem intensifica o espaço de busca)
6 else
7   | somente intensifica o espaço da busca;
8   | (grau de estagnação = médio)
9 end

```

A abordagem de mobilidade utilizada pela métrica *GEst* para classificação do nós, pode induzir a resultados falso-positivos ou falso-negativos.

Conforme a classificação dos nós utilizada pela métrica *GEst*, se um nó apresentar velocidade média constante alta e tempo médio de pausa curto, será considerado um nó com grau de estagnação baixo, portanto retendo suas mensagens em seu *buffer*, não explorando nem intensificando o espaço de busca. Caso esse nó esteja efetuando um pequeno deslocamento entre dois pontos ou se movimentando em círculos de pequeno raio, pode-se considerar esses exemplos como falso-positivos. De outro modo, caso o nó apresente velocidade média baixa e longos períodos de pausa, será classificado como grau de estagnação alto, explorando e intensificando o espaço de busca. Neste último caso, o nó pode ser um bom encaminhador de mensagens caso conecte regiões distintas, proporcionando a entrega de mensagens entre comunidades de diferentes regiões e nesta situação, sendo considerado um exemplo de resultado falso-negativo.

Visando minimizar as restrições apresentadas pela métrica original, o trabalho apresentado por esta dissertação propõe três métricas alternativas à métrica *GEst*. Cada métrica é implementada e testada isoladamente no protocolo CGrAnt de maneira a substituir a métrica original.

As novas métricas apresentam como solução para o problema exposto, uma abordagem de mobilidade dos nós diferente da utilizada pela métrica *GEst*. A abordagem das novas métricas avalia aspectos como região percorrida e contatos, utilizando medidas como distância e quantidade, não mais considerando o aspecto tempo de pausa e velocidade do nó.

O próximo capítulo descreve o procedimento metodológico utilizado e o detalhamento de cada métrica proposta para atualização do indicador **status_busca**, auxiliando na decisão da seleção de novas soluções via exploração ou na seleção de boas soluções previamente encontradas via intensificação do espaço de busca.

Capítulo 3

Novas Métricas na Busca por Melhores Caminhos

Tendo em vista o que foi discutido nas seções anteriores e para validação da discussão teórica apresentada, o presente trabalho propõe métricas alternativas ao conhecimento de Domínio do Algoritmo Cultural do protocolo CGrAnt. A próxima seção descreve as novas métricas propostas.

3.1 As Métricas Propostas

Esta seção apresenta o detalhamento das métricas alternativas que serão utilizadas pelo conhecimento de Domínio do protocolo CGrAnt. Cada métrica proposta visa contemplar aspectos de mobilidade não cobertos pela métrica *GEst*.

A Figura 3 apresenta um recorte no mapeamento das métricas no espaço de crenças do protocolo CGrAnt, salientando a delimitação do escopo deste trabalho: o conhecimento de Domínio.

O conhecimento de Domínio é importante para o protocolo CGrAnt devido à influência que exerce nos conhecimentos Situacional e Histórico, determinando se um nó deve seguir por um caminho de exploração ou de intensificação durante a busca por soluções para o problema de roteamento em DTNs.

A Tabela 1 mostra cada uma das métricas propostas, apresentando o nome, o aspecto do ambiente abordado (Região visitada pelos nós ou Contato com outros nós), a medida utilizada para quantificar os valores obtidos, bem como a determinação do seu tipo, que especifica se a métrica é baseada em comparação de valores (comparativa) ou acumulação de valores (acumulativa).

Tabela 1: Métricas propostas para o protocolo CGrAnt

Nome da métrica	Aspecto do Ambiente	Medida utilizada	Tipo
Alcance Máximo	Região	Distância	Comparativa
Diversidade de Regiões	Região	Quantidade	Acumulativa
Diversidade de Contatos	Contato	Quantidade	Comparativa

A Figura 4 apresenta o mapeamento das métricas propostas inserido no contexto do protocolo CGrAnt.

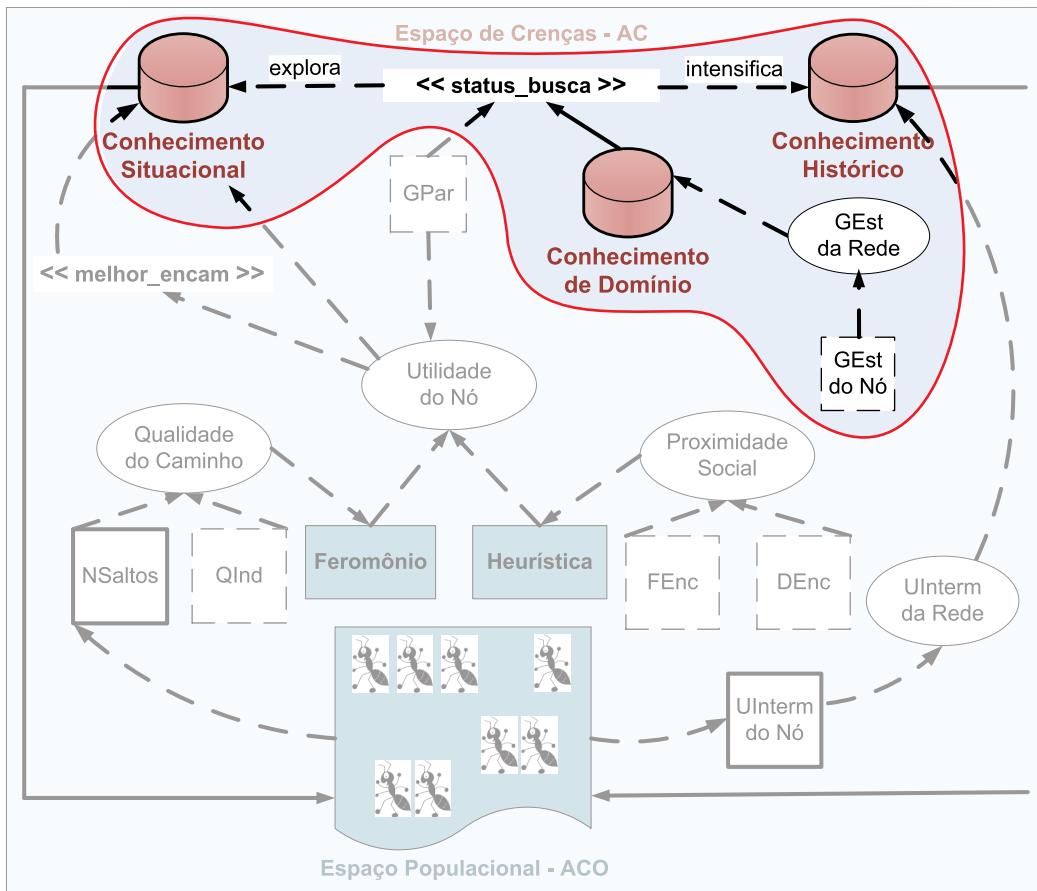


Figura 3: Recorte do mapeamento das Métricas no Espaço de Crenças
 Fonte: Adaptado de Vendramin (2012).

Com as modificações propostas, serão incluídas as seguintes métricas no protocolo CGrAnt :

- **Métricas Básicas**

- *AlcM*: Alcance Máximo de um nó;
- *DivR*: Diversidade de Regiões Visitadas por um nó;
- *DivC*: Diversidade de Contatos de um nó.

- **Métricas Compostas**

- Alcance Máximo da rede de relacionamentos de um nó ($AlcM_{rede}$): função de *AlcM*;
- Diversidade de Regiões Visitadas pela rede de relacionamentos de um nó ($DivR_{rede}$): função de *DivR*;
- Diversidade de Contatos da rede de relacionamentos de um nó ($DivC_{rede}$): função de *DivC*.

Nas próximas seções, cada uma das métricas propostas é apresentada em detalhes.

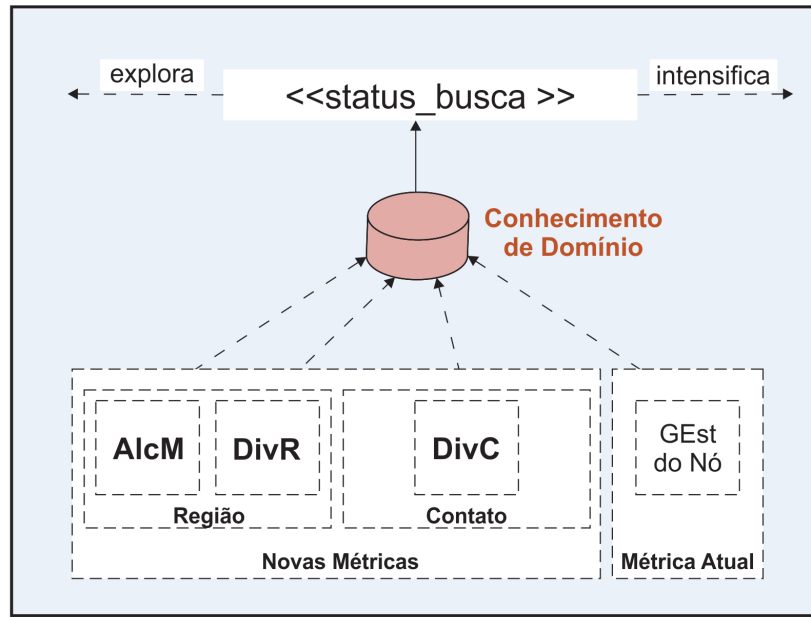


Figura 4: Mapeamento das Métricas propostas no Conhecimento de Domínio do protocolo CGrAnt.

3.1.1 Alcance Máximo

A métrica Alcance Máximo ($AlcM$) representa a distância relativa mais longa da posição inicial de um nó à posição mais distante alcançada pelo mesmo.

A utilização da métrica $AlcM$ tem por objetivo a escolha dos melhores nós por meio da aproximação da distância máxima alcançada por cada nó.

Espera-se que nós que percorrem maiores distâncias, visitem diferentes regiões do ambiente e entrem em contato com diversos nós.

O cálculo da métrica considera a distância Euclidiana¹ entre a posição inicial (p_0) do nó e a posição mais distante alcançada pelo mesmo.

A atualização da métrica $AlcM$ é direcionada a eventos. A cada evento e_k disparado pela parada de um nó em um lugar qualquer, a métrica $AlcM$ é atualizada, conforme Equação 3.1. O maior valor obtido pela comparação entre a distância do ponto atual do nó ao seu ponto inicial e o valor atual de $AlcM$ armazenado em um dos eventos anteriores é utilizado para atualização da métrica $AlcM$.

$$AlcM^i(e_k) = \begin{cases} 0 & \text{se } k = 0 \\ \max(\alpha AlcM^i(e_{k-1}), \|p_k - p_0\|_2) & \text{se } k > 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

onde:

- e_k representa um evento e em um instante de tempo k (isto é, a parada corrente do nó i);
- $\alpha \in (0, 1]$ especifica o fator de esquecimento;

¹A distância Euclidiana em um plano bidimensional entre os pontos $p = (p_x, p_y)$ e $q = (q_x, q_y)$ pode ser calculada pela equação $d = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2}$.

- $\|p_k - p_0\|_2$ representa a distância Euclidiana entre as posições p_k e p_0 do nó i ;
- p_k é a posição do nó no instante k ;
- p_0 é a posição inicial do nó.

O fator de esquecimento (α) da Equação 3.1 é aplicado a cada intervalo de tempo (Δt) e multiplica o valor do alcance máximo atingido pelo nó e armazenado em $AlcM$. Esse fator de esquecimento tem o propósito de priorizar os deslocamentos mais recentes e minimizar a importância de deslocamentos longos eventuais (por exemplo, caso em que um nó tenha se deslocado para uma distância longa à partir de seu ponto inicial e, posteriormente, percorra somente distâncias mais curtas).

A Figura 5 ilustra o cálculo da métrica $AlcM$ ao longo do tempo.

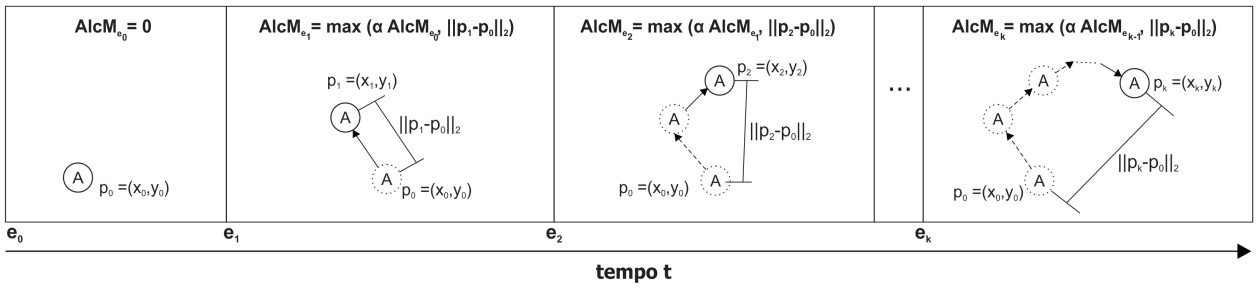


Figura 5: Ilustração do cálculo da métrica Alcance Máximo ao longo do tempo.

No evento e_0 o nó está parado em sua posição inicial p_0 . O resultado do cálculo da métrica $AlcM^i(e_0)$ é 0. Após o evento e_0 , o nó se desloca durante o período de tempo Δt_0 . Um novo evento (e_1) é gerado devido a pausa do nó na posição p_1 . O resultado do cálculo da métrica neste instante ($AlcM^i(e_1)$) apresenta a distância Euclidiana ($\|p_1 - p_0\|_2$) entre o ponto p_1 e o ponto p_0 .

Após o deslocamento do nó durante o período de tempo Δt_1 , acontece uma nova parada do nó (gerando o evento e_2). Neste instante, o resultado da métrica apresenta o maior valor entre a distância Euclidiana $\|p_1 - p_0\|_2$ (entre o ponto p_1 e p_0), armazenado em $AlcM^i(e_1)$, ponderada por α , e a distância Euclidiana $\|p_2 - p_0\|_2$ (entre o ponto p_2 e p_0).

O nó continua seu percurso. A cada parada, um novo evento é gerado e o valor armazenado pela métrica $AlcM$ é atualizado. Dessa maneira, o valor armazenado por $AlcM$ será sempre a maior distância alcançada pelo nó em relação à sua origem (p_0), com prioridade para os eventos mais recentes.

3.1.1.1 Alcance Máximo da rede

A atualização da métrica Alcance Máximo da rede de relacionamentos de um nó i é direcionada a eventos. A cada evento l_k disparado pelo contato do nó i com um nó vizinho j , a métrica Alcance Máximo é atualizada, conforme Equação 3.2.

$$AlcM_{rede}^i(l_k) = \frac{\sum_{j \in Lista_{AlcM}^i(l_k)} AlcM^j(e_k)}{|Lista_{AlcM}^i(l_k)|} \quad (3.2)$$

onde:

- $AlcM^j(e_k)$ representa o alcance máximo do nó j , vizinho do nó i , no instante do evento e_k ;
- $Lista_{AlcM}^i(l_k)$ representa a lista de alcances máximos dos nós j encontrados por i no instante do evento l_k .

O relacionamento entre o alcance máximo de um nó i ($AlcM^i$) e o alcance máximo médio de sua rede de relacionamentos ($AlcM_{rede}^i$) possibilita caracterizar três tipos de nós na rede e armazenar esse tipo de nó no conhecimento de Domínio do nó i (Dom^i):

1. $Dom^i =$ alcance máximo longo: a caracterização de um nó i , como um nó com alcance máximo longo, ocorre quando:

$$AlcM^i > (AlcM_{rede}^i + Ls_{AlcM}), \text{ se } AlcM_{rede}^i \text{ é determinado e não nulo,} \quad (3.3)$$

onde:

- $AlcM^i$ e $AlcM_{rede}^i$ estão definidos nas Equações 3.1 e 3.2, respectivamente;
 - Ls_{AlcM} é o valor acrescentado ao alcance máximo médio da rede de modo a detectar os nós classificados com alcance máximo longo.
2. $Dom^i =$ alcance máximo curto: a caracterização de um nó i , como um nó com alcance máximo curto, ocorre quando:

$$AlcM^i < (AlcM_{rede}^i - Li_{AlcM}), \text{ se } AlcM_{rede}^i \text{ é determinado e não nulo,} \quad (3.4)$$

onde:

- $AlcM^i$ e $AlcM_{rede}^i$ estão definidos nas Equações 3.1 e 3.2, respectivamente;
 - Li_{AlcM} é o valor subtraído do alcance máximo médio da rede de modo a detectar os nós classificados com alcance máximo curto.
3. $Dom^i =$ alcance máximo médio: a caracterização de um nó i , como um nó com alcance máximo médio ocorrerá se os critérios definidos nas Equações 3.3 e 3.4 não forem satisfeitos.

Diante da classificação dos nós como Alcance Máximo longo, médio ou curto, o conhecimento de domínio do protocolo CGrAnt utiliza o Algoritmo 3 para influenciar o status do indicador **status_busca** na decisão entre explorar ou intensificar o espaço de busca.

Algoritmo 3: Pseudo-código do Algoritmo utilizado para determinar o status do indicador **status_busca** utilizando a métrica Alcance Máximo.

```

1 if Alcance Máximo = longo then
2   | não encaminha as mensagens para outros nós;
3   | (não explora nem intensifica o espaço de busca)
4 else if Alcance Máximo = curto then
5   | explora e intensifica o espaço da busca;
6 else
7   | somente intensifica o espaço da busca;
8   | (Alcance Máximo = médio)
9 end

```

O acréscimo da métrica $AlcM$ no CGrAnt expressa o aspecto Região do ambiente, qualificando o alcance atingido pelo nó a partir do seu ponto inicial. Caso o nó tenha atingido um pequeno alcance, demonstra que este permanece confinado em uma região próxima ao seu ponto de origem, ou seja, não foi até um ponto distante. Por outro lado, caso o nó tenha alcance longo, espera-se que este nó encontre diversos nós distintos, visite diferentes regiões e, conseqüentemente, intermedie comunicações entre nós desconectados.

3.1.2 Diversidade de Regiões Visitadas

A métrica Diversidade de Regiões Visitadas ($DivR$) determina a quantidade de regiões diferentes visitadas pelo nó a partir de seu ponto de origem.

A definição das regiões pode ser feita pela subdivisão da DTN em áreas de tamanho m por n metros. Portanto, cada região $r = 1, \dots, R$, é definida pela divisão da área total da rede ($M \times N \text{ m}^2$) em áreas menores de ($m \times n \text{ m}^2$).

A identificação das regiões é baseada na premissa de que há o conhecimento prévio do mapa da rede.

A Equação 3.5 descreve a atualização da métrica $DivR$ que é direcionada a eventos. A cada evento e_k disparado pela parada do nó, a métrica $DivR$ é atualizada.

$$DivR^i(e_k) = \sum_{r=1}^R V_{ir} \quad (3.5)$$

onde:

- V_{ir} : determina se um nó i visitou uma determinada região r . V_{ir} recebe o valor 1 ($V_{ir} = 1$) se o nó i visitou a região r , ou 0 ($V_{ir} = 0$) se o nó i não visitou a região r .

A Figura 6 ilustra um exemplo da subdivisão do mapa da cidade de *Helsinki* em regiões de 500 m^2 . As coordenadas para geração deste mapa foram obtidas dos arquivos contidos na pasta de instalação do simulador The One (KERÄNEN, 2008).

A métrica $DivR$ é uma métrica acumulativa e qualifica um nó quanto a quantidade de regiões diferentes visitadas pelo mesmo, a partir de seu ponto inicial. Pelo uso da métrica $DivR$ busca-se avaliar se o percurso efetuado por um nó segue padrões de repetitividade que podem ser considerados como movimentos circulares ou movimentos repetitivos de ida e volta para pontos específicos.

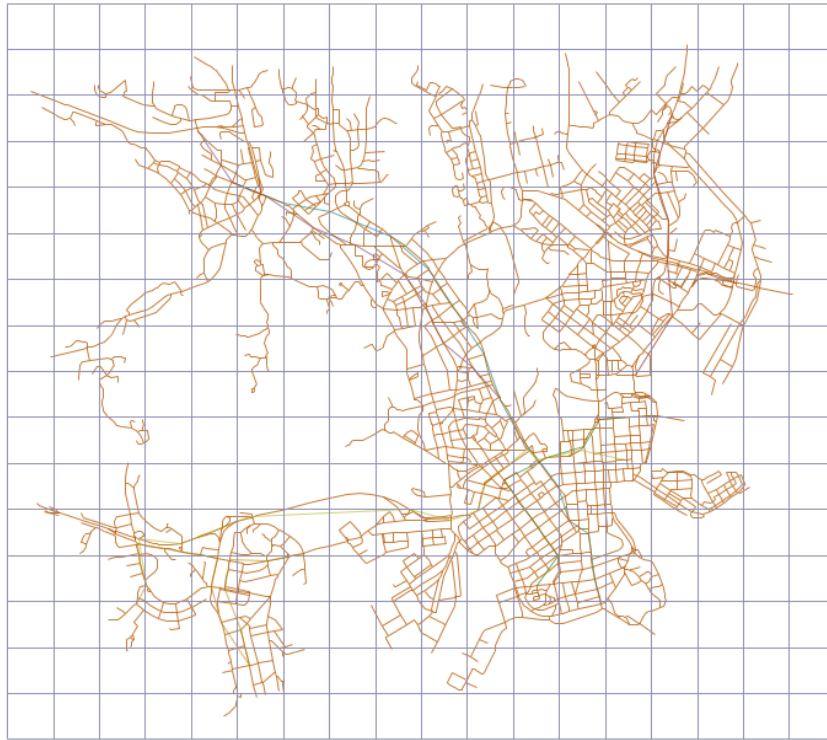


Figura 6: Mapa da cidade de *Helsinki* com regiões de 500 m^2
 Fonte: Adaptada de The One (KERÄNEN, 2008).

3.1.2.1 Diversidade de Regiões Visitadas da rede

A métrica composta Diversidade de Regiões Visitadas da rede de relacionamentos de um nó i é definida pela Equação 3.6:

$$DivR_{rede}^i(l_k) = \frac{\sum_{j \in Lista_{DivR}^i(l_k)} DivR^j(e_k)}{|Lista_{DivR}^i(l_k)|} \quad (3.6)$$

onde:

- $DivR^j(e_k)$ representa a diversidade de regiões do nó j , vizinho do nó i , no instante do evento e_k .
- $Lista_{DivR}^i(l_k)$ representa a lista de diversidade de regiões de nós encontrados por i no instante do evento l_k .

O relacionamento entre a diversidade de regiões do nó i e a diversidade de regiões média de sua rede de relacionamentos possibilita caracterizar três tipos de nós na rede e armazenar esse tipo de nó no conhecimento de Domínio do nó i (Dom^i):

1. Dom^i = diversidade de regiões alta: a caracterização de um nó i , como um nó com diversidade de regiões alta, ocorre quando:

$$DivR^i > (DivR_{rede}^i + L_{SDivR}), \text{ se } DivR_{rede}^i \text{ é determinado e não nulo,} \quad (3.7)$$

onde:

- $DivR^i$ e $DivR_{rede}^i$ estão definidas nas Equações 3.5 e 3.6, respectivamente;
 - LS_{DivR} é o valor acrescentado à diversidade de regiões média da rede de modo a detectar os nós classificados com diversidade de regiões alta.
2. Dom^i = diversidade de regiões baixa: a caracterização de um nó i , como um nó com diversidade de regiões baixa, ocorre quando:

$$DivR^i < (DivR_{rede}^i - Li_{DivR}), \text{ se } DivR_{rede}^i \text{ é determinada e não nulo,} \quad (3.8)$$

onde:

- $DivR^i$ e $DivR_{rede}^i$ estão definidas nas Equações 3.5 e 3.6, respectivamente;
 - Li_{DivR} é o valor subtraído do diversidade de regiões média da rede de modo a detectar os nós classificados com diversidade de regiões baixa.
3. Dom^i = diversidade de regiões média: a caracterização de um nó i , como um nó com diversidade de regiões média ocorrerá se os critérios definidos nas Equações 3.7 e 3.8 não forem satisfeitos.

Diante da classificação dos nós como diversidade de regiões alta, média ou baixa, o conhecimento de domínio do protocolo CGrAnt utiliza o Algoritmo 4 para influenciar o status do indicador **status_busca** para decidir entre explorar ou intensificar o espaço de busca.

Algoritmo 4: Pseudo-código do Algoritmo utilizado para determinar o status do indicador **status_busca** usando a métrica Diversidade de Regiões Visitadas.

```

1 if Diversidade de Regiões Visitadas = alta then
2   | não encaminha as mensagens para outros nós;
3   | (não explora nem intensifica o espaço de busca)
4 else if Diversidade de Regiões Visitadas = baixa then
5   | explora e intensifica o espaço da busca;
6 else
7   | somente intensifica o espaço da busca;
8   | (Diversidade de Regiões Visitadas = média)
9 end

```

A métrica $DivR$ abrange um aspecto não contemplado pela métrica $GEst$ ou $AlcM$, e tem o propósito de refinar o processo de avaliação quanto a qualidade de um nó como encaminhador de mensagens.

3.1.3 Diversidade de Contatos

O entendimento sobre a importância da centralidade dos nós é objeto de estudo da área de redes complexas (OPSAHL et al., 2010). Freeman (1978) formalizou métricas para mensuração da centralidade dos nós, são elas: Centralidade de Grau (do inglês *degree centrality*), Centralidade de Proximidade (do inglês *closeness centrality*) e Centralidade de Intermediação (do inglês *betweness centrality*).

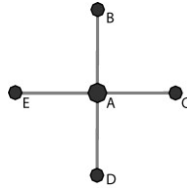


Figura 7: Ilustração representando a Centralidade de Grau.
Fonte: (OPSAHL et al., 2010).

A Figura 7 ilustra uma rede com cinco vértices e quatro arestas, onde cada vértice possui um tamanho proporcional ao seu grau.

Para o propósito deste trabalho, em virtude do escopo do problema abordado ser voltado à utilização de métricas locais, é utilizada uma variação da métrica Centralidade de Grau, denominada Diversidade de Contatos.

A métrica Diversidade de Contatos ($DivC$) apresenta o número máximo de vizinhos de um nó conectados simultaneamente.

A métrica $DivC$ é comparativa e a sua atualização é direcionada a eventos. A cada evento (e_k) disparado pela parada de um nó i , o resultado de $DivC^i(e_k)$ é atualizado. O maior valor resultante da comparação entre o Número de Contatos ($DivC^i(e_k)$) do nó i no evento e_k e o valor de $DivC$ armazenado anteriormente ($DivC^i(e_{n-1})$) é utilizado para atualização da métrica $DivC$.

A utilização de uma métrica inspirada em centralidade tem o objetivo de auxiliar na escolha de um nó como encaminhador de mensagens (dentre uma lista de nós disponíveis) que possua uma posição privilegiada. Devido a esta premissa, espera-se que um nó com o número de contatos maior seja mais importante que os demais.

A Equação 3.9 descreve o cálculo da métrica $DivC$.

$$DivC^i(e_k) = \begin{cases} DivC^i(e_k) & \text{se } k = 0 \\ \max(\beta DivC^i(e_{k-1}), DivC^i(e_k)) & \text{se } k > 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

onde:

- e_k representa um evento e em um instante de tempo k ;
- $DivC^i(e_k)$ é o número de contatos que o nó i possui no instante do evento e_k ;
- $\beta \in (0, 1]$ especifica o fator de esquecimento.

O fator de esquecimento (β) é aplicado a cada intervalo de tempo (Δt) e multiplica o valor armazenado em $DivC$. Esse fator de esquecimento tem o propósito de priorizar os contatos mais recentes e minimizar a importância de eventuais encontros com um grande número de contatos (por exemplo, caso em que um nó tenha encontrado um número alto de contatos em um determinado momento e, posteriormente, o número de contatos diminua).

A Figura 8 ilustra o cálculo da métrica $DivC$ ao longo do tempo.

No evento e_0 o nó i está parado em sua posição inicial. O resultado do cálculo da métrica $DivC$ é 0 pois não há nenhuma conexão entre o nó i e quaisquer nós próximos ($DivC^i(e_0) = 0$).

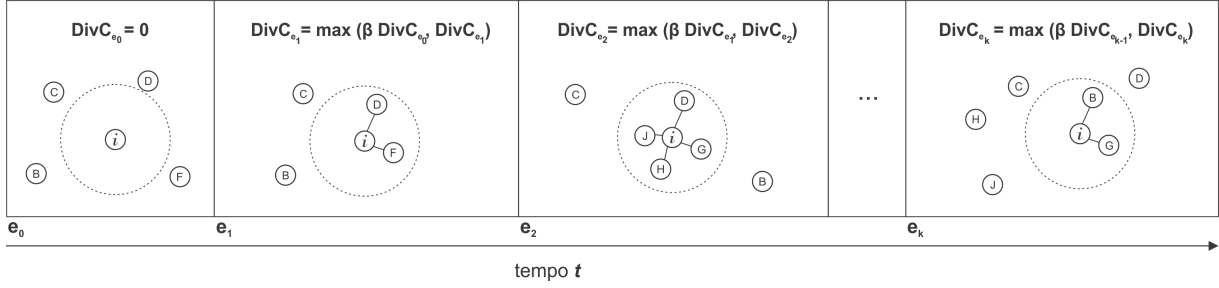


Figura 8: Ilustração do cálculo da métrica Diversidade de Contatos.

O nó i se desloca durante um período de tempo (Δt) e um novo evento (e_1) é gerado pela pausa do nó. O resultado do cálculo da métrica neste instante apresenta o maior número de conexões que o nó i obteve no período anterior de pausa (evento e_0 ponderado por β) e no período de pausa atual devido ao evento e_1 .

Após um novo deslocamento durante um período de tempo Δt_1 , acontece uma nova parada do nó (gerando o evento e_2). Neste instante, o resultado da métrica apresenta o maior valor entre o número de conexões do período de pausa do nó i durante o evento e_2 e o valor armazenado pela métrica em um dos eventos anteriores.

O nó continua seu percurso. A cada parada, um novo evento é gerado e o valor armazenado pela métrica $DivC$ é atualizado. Dessa maneira, o valor armazenado por $DivC$ será sempre o maior número de conexões que um nó obteve, com prioridade para os eventos mais recentes.

3.1.3.1 Diversidade de Contatos da rede

A atualização da métrica Diversidade de Contatos da rede de relacionamento de um nó i é direcionada a eventos. A cada evento l_k disparado pelo contato do nó i com um nó vizinho j , a métrica Diversidade de Contatos é atualizada, conforme Equação 3.10.

$$DivC_{rede}^i(l_k) = \frac{\sum_{j \in Lista_{DivC}^i(l_k)} DivC^j(e_k)}{|Lista_{DivC}^i(l_k)|} \quad (3.10)$$

onde:

- $DivC^j(e_k)$ representa a diversidade de contatos do nó j , vizinho do nó i , no instante do evento e_k .
- $Lista_{DivC}^i(l_k)$ representa a lista de diversidade de contatos dos nós j encontrados por i no instante do evento l_k ;

O relacionamento entre a diversidade de contatos do nó i e a diversidade de contatos média de sua rede de relacionamentos possibilita caracterizar três tipos de nós na rede e armazenar esse tipo de nó no conhecimento de Domínio do nó i (Dom^i):

1. Dom^i = diversidade de contatos alta: a caracterização de um nó i , como um nó com diversidade de contatos alta, ocorre quando:

$$DivC^i > (DivC_{rede}^i + Ls_{DivC}), \text{ se } DivC_{rede}^i \text{ é determinada e não nula,} \quad (3.11)$$

onde:

- $DivC^i$ e $DivC_{rede}^i$ estão definidas nas Equações 3.9 e 3.10, respectivamente;
 - Ls_{DivC} é o valor acrescentado a diversidade de contatos média da rede de modo a detectar os nós classificados com diversidade de contatos alta.
2. Dom^i = diversidade de contatos baixa: a caracterização de um nó i , como um nó com diversidade de contatos baixa, ocorre quando:

$$DivC^i < (DivC_{rede}^i - Li_{DivC}), \text{ se } DivC_{rede}^i \text{ é determinada e não nula,} \quad (3.12)$$

onde:

- $DivC^i$ e $DivC_{rede}^i$ estão definidas nas Equações 3.9 e 3.10, respectivamente;
 - Li_{DivC} é valor subtraído da diversidade de contatos média da rede de modo a detectar os nós classificados com diversidade de contatos baixa.
3. Dom^i = diversidade de contatos média: a caracterização de um nó i , como um nó com diversidade de contatos média ocorrerá se os critérios definidos nas Equações 3.11 e 3.12 não forem satisfeitos.

Diante da classificação dos nós com diversidade de contatos alta, média e baixa, o conhecimento de domínio do protocolo CGrAnt utiliza o Algoritmo 5 para influenciar o status do indicador **status_busca** durante a decisão entre explorar ou intensificar o espaço de busca.

Algoritmo 5: Pseudo-código do Algoritmo utilizado para determinar o status do indicador **status_busca** usando a métrica Diversidade de Contatos.

```

1 if Diversidade de Contatos = alta then
2   | não encaminha as mensagens para outros nós;
3   | (não explora nem intensifica o espaço de busca)
4 else if Diversidade de Contatos = baixa then
5   | explora e intensifica o espaço da busca;
6 else
7   | somente intensifica o espaço da busca;
8   | (Diversidade de Contatos = média)
9 end

```

O uso da métrica Diversidade de Contatos busca abordar o aspecto da importância da conectividade do nó com seus vizinhos, ressaltando sua posição privilegiada como encaminhador de mensagens.

A métrica Diversidade de Contatos tem como objetivo possibilitar que a decisão quanto a escolha do processo de intensificação ou exploração seja mais abrangente, abordando o aspecto quantitativo do número máximo de contatos obtidos pelo nó por tempo.

O próximo capítulo apresenta a avaliação de desempenho das métricas $AlcM$, $DivC$ e $DivR$ por meio da comparação destas com a métrica $GEst$. Cada métrica proposta é implementada no protocolo CGrAnt de maneira substitutiva, ou seja, através da substituição da métrica $GEst$ por cada métrica proposta. Deste modo, três versões do

protocolo são comparadas com o protocolo original. São também descritos os cenários e os parâmetros de mobilidade utilizados, bem como as medidas de desempenho definidas para avaliação do protocolo CGrAnt.

Capítulo 4

Avaliação de Desempenho

O presente capítulo apresenta a avaliação de desempenho das métricas propostas para o conhecimento de Domínio (AlcM, DivR e DivC) ao compará-las com a métrica original do conhecimento de Domínio (GEst). Para análise das novas métricas, testes comparativos serão realizados por meio de simulações do protocolo CGrAnt originalmente implementado em Vendramin (2012) e do protocolo CGrAnt modificado. Assim, cada métrica proposta será implementada e testada individualmente em substituição à métrica original *GEst*.

O Ambiente de Simulação para Redes Oportunistas The One (*The Oportunistic Network Environment*) (KERÄNEN, 2008) será utilizado como recurso computacional para avaliar o desempenho de cada uma das novas métricas incorporadas no protocolo CGrAnt, uma vez que ele foi utilizado por Vendramin (2012) para implementação do protocolo CGrAnt. The One é um simulador que permite a utilização de diferentes padrões de mobilidade para os nós e foi desenvolvido especificamente para análise de protocolos de roteamento e aplicações para DTNs (KERÄNEN et al., 2009). O conjunto de parâmetros e cenários de mobilidade apresentados em Vendramin (2012) serão utilizados como base para elaboração dos testes que irão avaliar o desempenho do protocolo com as novas métricas propostas. Finalmente, será efetuada a análise comparativa dos resultados e do comportamento do protocolo CGrAnt modificado por meio do acréscimo das novas métricas.

Este capítulo está subdividido nas seguintes partes. A Seção 4.1 mostra a definição das medidas de desempenho consideradas para análise das métricas alternativas propostas para atuar no conhecimento de domínio do protocolo CGrAnt. A Seção 4.2 descreve os cenários considerados para avaliação das novas métricas. A Seção 4.3 descreve os parâmetros de simulação utilizados e a Seção 4.4 apresenta os resultados obtidos.

4.1 Medidas de Desempenho

A Taxa de Entrega de mensagens representa o percentual de mensagens criadas que foram entregues ao seus destinos. A Equação 4.1 apresenta o cálculo da Taxa de Entrega de mensagens:

$$Taxa\ de\ Entrega = \frac{Mentregues}{Mcriadas} \quad (4.1)$$

onde:

- *Mentregues*: representa a quantidade de mensagens entregues para o destino final;
- *Mcriadas*: representa a quantidade de mensagens criadas pelos nós.

A Relação de Redundância ou Sobrecarga (do inglês, *overhead*) apresenta a relação entre o número de réplicas de mensagens propagadas na rede e o número de mensagens entregues ao destino final. A Equação 4.2 apresenta o cálculo da Relação de Redundância:

$$\text{Relação de Redundância} = \frac{M_{\text{transmitidas}} - M_{\text{entregues}}}{M_{\text{entregues}}} \quad (4.2)$$

onde:

- *Mtransmitidas*: representa a quantidade de mensagens transmitidas para os nós;
- *Mentregues*: representa a quantidade de mensagens entregues para o destino final.

4.2 Cenários de Simulação

Nesta seção são apresentados os cenários utilizados para avaliação das métricas propostas. Cada cenário utiliza como base um modelo de movimento específico que descreve um padrão de mobilidade utilizado pelos nós. Cada padrão possui sua particularidade e define atributos como velocidade, aceleração, localização, que se modificam de acordo com o tempo (JAYAKUMAR; GANAPATHI, 2008).

Três cenários com modelos de movimento distintos foram escolhidos para avaliar o desempenho das métricas: o cenário *Random WayPoint* (RWP), o cenário *Point of Interest* (PoI) e o cenário *Working Day Movement model* (WD).

A escolha dos cenários mencionados se deve ao fato de possuírem características distintas que permitem avaliar o comportamento de cada uma das métricas. Outro motivo é que os modelos estão disponíveis no simulador The One. Além disso, Vendramin (2012) utilizou os cenários PoI e WD para análise de desempenho do protocolo CGrAnt.

A seguir, cada cenário mencionado será detalhado individualmente em sua respectiva seção.

4.2.1 Cenário RWP

O cenário de simulação RWP, apresentado por Johnson e Maltz (1996), utiliza um padrão de movimentação aleatório, onde uma posição de destino é selecionada ao acaso, dentro da área de simulação definida.

Após chegar ao seu destino, o nó aguarda um período de tempo para, posteriormente, selecionar um outro destino e iniciar novamente seu deslocamento. Esse processo se repete até o término da simulação.

Este cenário é composto por 4 grupos de nós, identificados por *P1*, *P2*, *C* e *T*. Os nós são classificados em pedestres (*P*), trens (*T*) e carros *C*. Totalizando 486 nós, este grupo está composto da seguinte maneira (ver Tabela 2): os grupos P1 e P2 simulam

pedestres e totalizam 320 nós; o grupo C simula o movimento de carros e possui 160 nós; o grupo T representa 6 trens.

A cada 25-35 segundos um nó é selecionado aleatoriamente de um grupo de 30 nós de origem e cada nó de origem possui um grupo de 10 nós, escolhidos aleatoriamente, para enviar mensagens.

Tabela 2: Associação dos nós para cada grupo para o cenário RWP.

Grupo de Nós	Quantidade de Nós	Tipo de Nó
P1	160	Pedestre
P2	160	Pedestre
C	160	Carro
T	6	Trem

4.2.2 Cenário PoI

O cenário de simulação PoI utiliza o padrão de mobilidade *ShortestPathMapBasedMovement* definido por Keränen et al. (2009). A decisão da escolha do ponto destino é baseada nas restrições do mapa. Uma vez escolhido o ponto de destino, o nó utiliza o algoritmo de *Dijkstra*¹ para calcular o menor caminho e se direciona até o destino.

O cenário de simulação PoI está composto por cinco comunidades ou Pontos de Interesse (PoIs - *Points of Interest*) e é constituído por 125 nós, posicionados de forma aleatória no início da simulação. Cada grupo possui 30 nós, identificados por N1, N2, N3 e N4. Os grupos totalizam quatro comunidades: PoIA, PoIB, PoIC e PoID. Há ainda um quinto ponto de interesse (PoIE) que representa um ponto de interesse comum entre as quatro comunidades.

O cenário PoI simula a movimentação de pessoas que, eventualmente, entram em contato com outras pessoas, da mesma comunidade ou de outras comunidades. Quando estes encontros ocorrem, há a troca de informações.

Cada comunidade, ou grupo de nós, possui uma probabilidade de entrar em contato com os demais grupos, conforme apresentado na Tabela 3. O PoI comum (PoIE) possui a mesma probabilidade de seleção de destino para todas as comunidades.

Tabela 3: Probabilidades de seleção de destino para o cenário PoI.

Grupo de Nós	Destino PoIA (%)	Destino PoIB (%)	Destino PoIC (%)	Destino PoID (%)	Destino PoIE (%)
N1	60	5	5	0	30
N2	5	60	0	5	30
N3	0	5	60	5	30
N4	5	0	5	60	30

¹Algoritmo criado pelo matemático holandês Edsger Wybe Dijkstra (1930 - 2002) e publicado na edição número 1 do periódico *Numerical Mathematics*, em 1959 (Dijkstra, 1959).

Há maior probabilidade para seleção do destino pertencente ao PoI domiciliar, probabilidade média para seleção de um PoI comum como destino e probabilidade baixa para seleção de outros PoIs.

A cada 50-90 segundos um nó é selecionado aleatoriamente de um grupo de 50 nós de origem e cada nó de origem possui um grupo de 10 nós, escolhidos aleatoriamente, para enviar mensagens.

4.2.3 Cenário WD

Diferente dos cenários apresentados na Seção 4.2.1 e na Seção 4.2.2, que apresentam um padrão de mobilidade maior, o cenário de simulação que utiliza o modelo de movimento WD (EKMAN et al., 2008) apresenta um padrão de mobilidade distinto, onde os movimentos dos nó se repetem com mais frequência.

O cenário WD representa um ambiente baseado em atividades que simula o dia a dia de pessoas que saem de suas casas pela manhã, permanecem durante o dia em seus trabalhos e, eventualmente, vão para locais públicos para atividades de lazer com seus amigos ao final do dia. Posteriormente, retornam para suas casas à noite. O cenário WD possui pontos de encontro: casas, ônibus, ruas e escritórios.

Relações sociais são formadas quando um grupo de pessoas se encontram e efetuam alguma atividade no mesmo local. Os nós do cenário WD são classificados em pedestres ou ônibus.

Este cenário é composto por oito grupos de nós, identificados de N1 a N8. Os grupos de N1 até N4 simulam somente movimentos intra-grupos. Os grupos N5, N6 e N7 simulam movimentos entre o grupo N1 e os outros grupos N2, N3 e N4, respectivamente. O grupo N8 simula movimentos entre todos os grupos (isto é, esse grupo de nós percorre todas as áreas do mapa).

A associação da quantidade de nós para cada grupo é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4: Associação dos nós para cada grupo para o cenário WD.

Grupo de Nós	Quantidade de Nós	Movimento entre o(s) grupo(s) de Nós
N1	50	N1
N2	15	N2
N3	30	N3
N4	30	N4
N5	30	N1 e N2
N6	50	N1 e N3
N7	50	N1 e N4
N8	70	todos os grupos

Conforme Vendramin (2012), no cenário WD, podemos classificar os nós em dois grupos: os “andarilhos” e os “sociáveis”. Os sociáveis são representados pelos nós dos grupos N1 a N7 enquanto que os andarilhos são representados pelo grupo N8. Este último, representa nós que não possuem um local permanente e se movem sem um padrão de mobilidade característico dos demais grupos.

O cenário WD é composto por 339 nós no total, sendo: 14 ônibus, 255 nós sociáveis e 70 nós andarilhos.

A cada 100-150 segundos um nó é selecionado aleatoriamente de um grupo de 80 nós de origem e cada nó de origem possui um grupo de 10 nós, escolhidos aleatoriamente, para enviar mensagens.

4.3 Parâmetros de Simulação

Os experimentos de simulação foram conduzidos utilizando o simulador The One. Os nós têm duas interfaces de rede: (a) interface Bluetooth, com raio de comunicação de 10 metros e velocidade de transmissão de 2 Mbps; e (b) interface Wi-Fi, com raio de comunicação de 100 metros e velocidade de transmissão de 10 Mbps. O tempo de simulação definido foi de 432.000 segundos. O tamanho do *buffer* de cada nó está definido em $20 MB^2$. Cada mensagem possui um *TTL* de 2000^3 minutos e o tamanho de 500 KB. Os limites Li e Ls definidos para cada uma das métricas propostas estão listados na Tabela 5. Esses limites são valores constantes, definidos de maneira empírica. Conforme discutido anteriormente, para permitir a avaliação das métricas propostas quando comparadas com a métrica padrão do protocolo, os parâmetros de simulação utilizados neste trabalho foram os mesmos que os parâmetros utilizados na definição do protocolo CGrAnt (VENDRAMIN, 2012).

Tabela 5: Valores do Limite Inferior e Limite Superior utilizado nas métricas propostas

Métrica	Limite Inferior (Li)	Limite Superior (Ls)
AlcM	$Li_{AlcM} 0.8 \times AlcM_{rede}$	$Ls_{AlcM} 1.2 \times AlcM_{rede}$
DivR	$Li_{DivR} 2.4 \times DivR_{rede}$	$Ls_{DivR} 3.2 \times DivR_{rede}$
DivC	$Li_{DivC} 0.6 \times DivC_{rede}$	$Ls_{DivC} 2.5 \times DivC_{rede}$

Para avaliar o desempenho das métricas propostas, foi considerada a Taxa de Entrega de mensagens e a Relação de Redundância (conforme Seção 4.1).

Três cenários com modelos de movimento distintos foram utilizados para avaliar o desempenho das métricas, conforme discutido na seção anterior:

- O cenário RWP (ver detalhes na Seção 4.2.1) utiliza o modelo de movimento *Random WayPoint*;
- O cenário PoI (ver detalhes na Seção 4.2.2) utiliza um modelo de movimento baseado em comunidades ou Pontos de Interesse (*Point of Interest*);
- O cenário WD (ver detalhes na Seção 4.2.3) utiliza o modelo de movimento baseado em atividades.

A Tabela 6 apresenta os parâmetros utilizados nas simulações. Os valores dos parâmetros dos cenários foram escolhidos para se aproximarem ao máximo dos valores apresentados nos cenários disponíveis no simulador The One.

²valor fixo definido para geração do gráfico de desempenho das métricas variando o *TTL* das mensagens.

³valor fixo definido para geração do gráfico de desempenho das métricas variando o tamanho do *buffer* dos nós.

Tabela 6: Parâmetros utilizados nas simulações para cada um dos cenários.

Parâmetros	RWP	PoI	WD
Área (m^2)	4.500 x 3.400	8.800 x 7.800	10.000 x 8.000
Número de Nós	486	120	339
Velocidade dos Nós (metros/segundo)	0,5-1,5 (pedestres), 2,7-13,9 (carros), 7-10 (trens)	0,5-1,5	0,8-1,4 (pedestres), 7-10 (carros e ônibus)
Tempo de Pausa Nós destinos (segundos)	0-120 (pedestres e carros), 10-30 (trens)	100-200 (grupos N1 a N4)	300-500 (grupo N8), 10-30 (ônibus)
Taxa de Geração das Mensagens (segundos)	25-35	50-90	100-150
Quantidade de nós que originam mensagens	30	50	80
Tamanho dos Buffers (MB)	4, 8, 12, 16, 20 , 24, 28, 32, 36, 40 50 (trens)	4, 8, 12, 16, 20 , 24, 28, 32, 36, 40	4, 8, 12, 16, 20 , 24, 28, 32, 36, 40
Fator de esquecimento α (AlcM)	0.9		
Fator de esquecimento β (DivC)	0.9		
TTL das mensagens (minutos)	400, 800, 1200, 1600, 2000 , 2400, 2800, 3200, 3600, 4000		
Duração da Simulação (segundos)	432.000		

4.4 Resultados Obtidos

Nesta seção são apresentados os resultados do desempenho obtido pelas métricas $DivR$, $AlcM$, $DivC$ e $GEst$ variando o tamanho do *buffer* e o TTL das mensagens para duas interfaces de rede nos nós: (a) interface Bluetooth e (b) interface Wi-Fi.

Os resultados estão agrupados por cenário utilizado para execução dos experimentos: RWP, PoI e WD.

Foram efetuadas trinta execuções para cada conjunto de parâmetros e os resultados apresentam a média dos valores obtidos e o desvio padrão.

O Apêndice A apresenta todos os resultados, permitindo observar os valores obtidos para todas as variações do Tamanho do *buffer* e para todas as variações do TTL das Mensagens para cada uma das métricas apresentadas neste trabalho ($GEst$, $AlcM$, $DivC$ e $DivR$).

4.4.1 Cenário RWP

Os resultados obtidos são apresentados conforme a interface de rede utilizada pelos nós. Foram utilizadas as interfaces Bluetooth (Seção 4.4.1.1) e Wi-Fi (Seção 4.4.1.2).

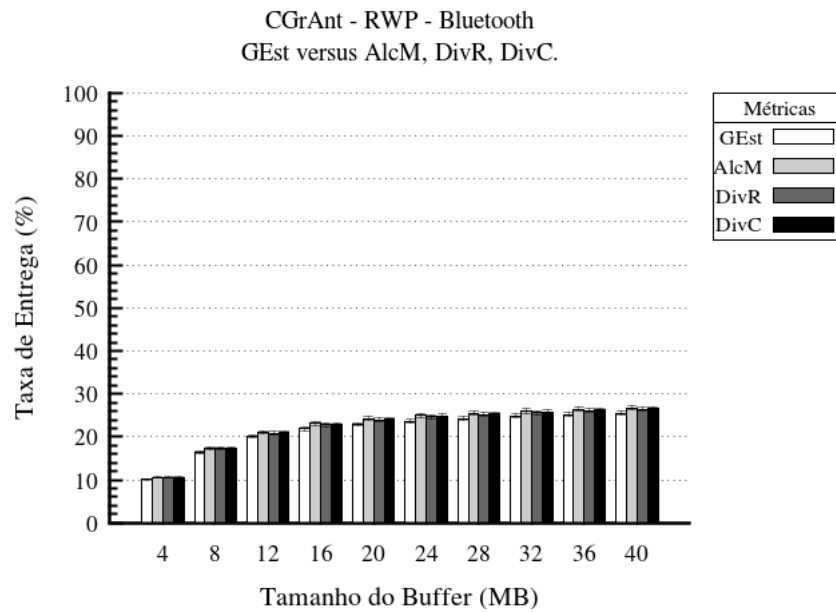
As figuras são apresentadas pela ótica das duas medidas de desempenho utilizadas: Taxa de Entrega e Relação de Redundância.

4.4.1.1 Interface Bluetooth

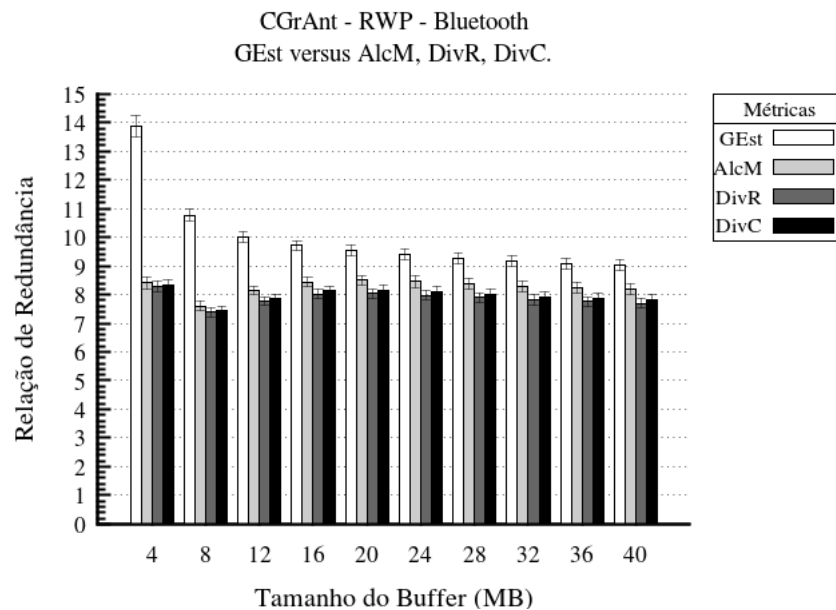
As Figuras 9 e 10 mostram o desempenho das métricas $AlcM$, $DivC$, $DivR$ e $GEst$ para a interface Bluetooth.

4.4.1.1.1 Variação do Tamanho do *Buffer*

Observa-se na Figura 9a a Taxa de Entrega pela variação do Tamanho do *Buffer*.



(a)



(b)

Figura 9: Desempenho das métricas para o cenário RWP utilizando interface Bluetooth apresentando a Taxa de Entrega e Relação de Redundância pela variação do Tamanho do *Buffer*.

Percebe-se que todas as métricas propostas, sem exceção, apresentam melhor desempenho, independente do tamanho do *buffer*. Para todas as variações do tamanho *buffer* as métricas *AlcM*, *DivC* e *DivR* obtiveram Taxa de Entrega maior que a métrica *GEst*.

Para o tamanho do *buffer* de 20 MB e TTL da Mensagens de 2.000 minutos, *AlcM* alcançou a Taxa de Entrega de $24,26 \pm 0,45\%$. A métrica *DivC* apresentou a Taxa

de Entrega de $24,02 \pm 0,47\%$ e a métrica *DivR* gerou a Taxa de Entrega de $23,93 \pm 0,46\%$. *GEst* atingiu Taxa de Entrega de somente $22,91 \pm 0,44\%$.

A Figura 9b mostra que, em geral, quanto maior o tamanho do *buffer*, menor a Relação de Redundância de Mensagens obtida pelas métricas. Além disso, para todas as variações do tamanho do *buffer*, a Relação de Redundância para as métricas propostas foi menor em comparação com a métrica *GEst*.

Para o tamanho do *buffer* de 8 MB e TTL da Mensagens de 2.000 minutos, a métrica *DivR* apresentou a Relação de Redundância de somente $7,39 \pm 0,15$. A métrica *DivC* gerou a Relação de Redundância de apenas $7,44 \pm 0,14$ enquanto que a métrica *AlcM* apresentou $7,61 \pm 0,14$. A métrica *GEst* atingiu Relação de Redundância de $10,77 \pm 0,22$.

4.4.1.1.2 Variação do TTL das Mensagens

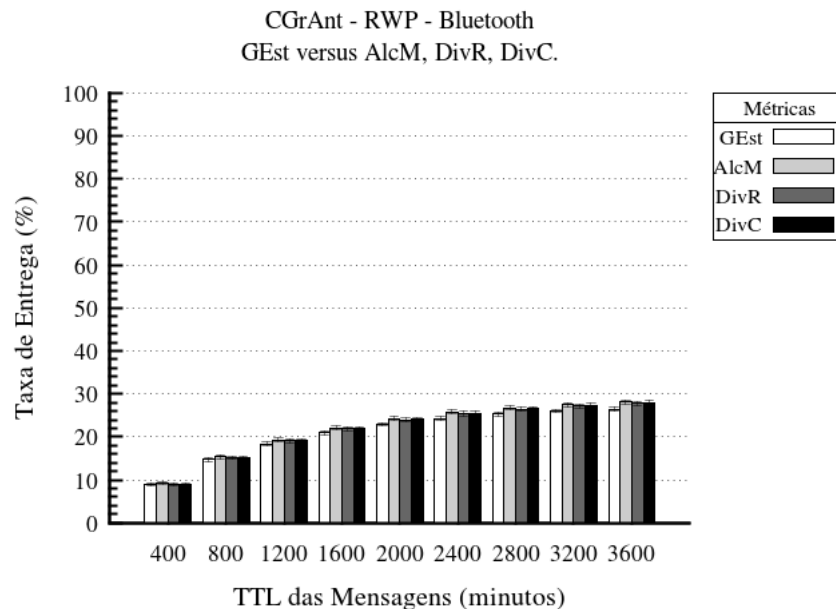
Observa-se na Figura 10a a Taxa de Entrega pela variação do TTL das Mensagens.

A Figura 10a mostra que para todos os valores de TTL das Mensagens, todas as métricas propostas (*AlcM*, *DivC* e *DivR*) apresentam maior Taxa de Entrega em comparação com a métrica *GEst*.

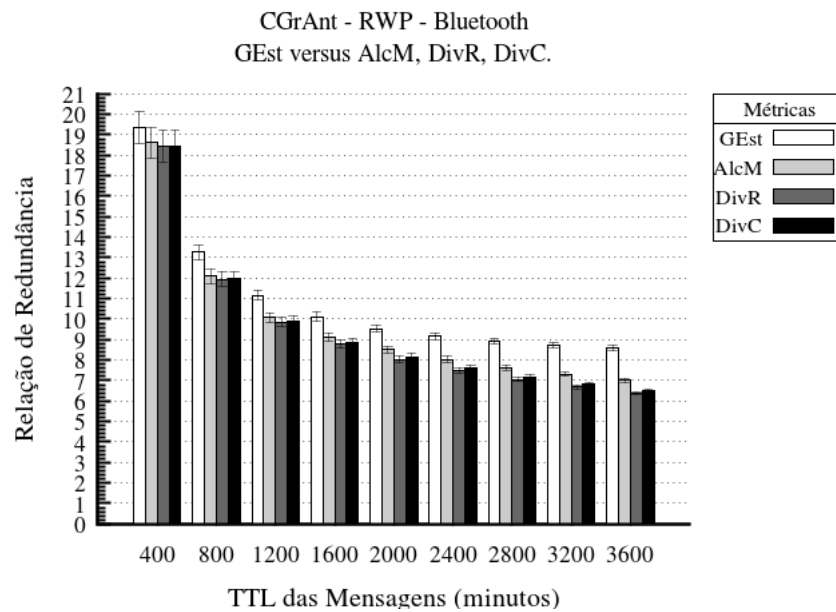
Para o TTL das mensagens de 3.600 minutos e tamanho do *buffer* de 20 MB, a métrica *AlcM* alcançou a Taxa de Entrega de $28,06 \pm 0,45\%$. A métrica *DivC* apresentou a Taxa de Entrega de $27,89 \pm 0,49\%$ e a métrica *DivR* gerou a Taxa de Entrega de $27,80 \pm 0,47\%$. A métrica *GEst* atingiu Taxa de Entrega de $26,49 \pm 0,41\%$.

A Figura 10b mostra que quanto maior o TTL das mensagens, menor a Relação de Redundância de mensagens. Além disso, para todas as variações do TTL das mensagens, a Relação de Redundância foi menor para todas as métricas propostas.

Para o TTL das mensagens de 3.600 minutos e tamanho do *buffer* de 20 MB, a métrica *DivR* apresentou a Relação de Redundância de somente $6,52 \pm 0,08$. A métrica *DivC* apresentou a Relação de Redundância de somente $6,52 \pm 0,09$ e a métrica *AlcM* obteve Relação de Redundância de $7,00 \pm 0,09$. A métrica *GEst* atingiu Relação de Redundância de $8,59 \pm 0,14$.



(a)



(b)

Figura 10: Desempenho das métricas para o cenário RWP utilizando interface Bluetooth apresentando a Taxa de Entrega e Relação de Redundância pela variação do *TTL* das Mensagens.

4.4.1.2 Interface Wi-Fi

As Figuras 11 e 12 mostram o desempenho das métricas *AlcM*, *DivC*, *DivR* e *GEst* utilizando a interface Wi-Fi dos nós.

4.4.1.2.1 Variação do Tamanho do *Buffer*

Observa-se na Figura 11a a Taxa de Entrega pela variação do Tamanho do *Buffer*.

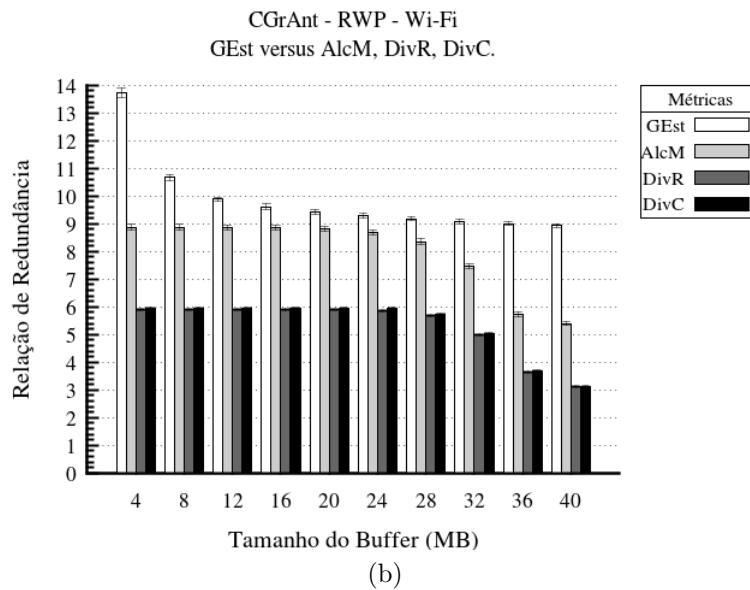
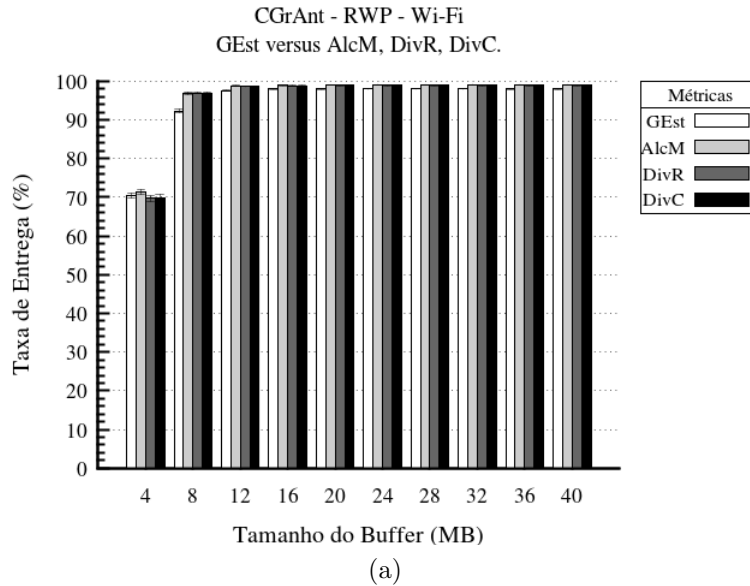


Figura 11: Desempenho das métricas para o cenário RWP utilizando interface Wi-Fi apresentando a Taxa de Entrega e Relação de Redundância pela variação do Tamanho do *Buffer*.

Para todas as variações do tamanho *buffer* acima de 4 MB as métricas *AlcM*, *DivC* e *DivR* obtiveram Taxa de Entrega maior que a métrica *GEst*.

Para o tamanho do *buffer* de 8 MB e TTL da Mensagens de 2.000 minutos, *DivC* alcançou a Taxa de Entrega de $96,99 \pm 0,27\%$. A métrica *DivR* apresentou a Taxa de Entrega de $96,94 \pm 0,21\%$ e a métrica *AlcM* gerou a Taxa de Entrega de $96,77 \pm 0,26\%$. *GEst* atingiu Taxa de Entrega de $92,30 \pm 0,38\%$.

A Figura 11b mostra que quanto maior o Tamanho do *Buffer*, menor a Relação de Redundância obtida pelas métricas. Além disso, para todas as variações do Tamanho do *Buffer*, a Relação de Redundância foi menor para as métricas propostas em comparação com a métrica *GEst*.

Para o tamanho do *buffer* de 4 MB e TTL das Mensagens de 2.000 minutos, a métrica *DivR* apresentou a Relação de Redundância de somente $5,92 \pm 0,04$. A métrica *DivC* gerou a Relação de Redundância de apenas $5,96 \pm 0,04$ enquanto que a métrica *AlcM* apresentou $9,55 \pm 0,09$. A métrica *GEst* atingiu Relação de Redundância de $13,72 \pm 0,17$.

4.4.1.2.2 Variação do TTL das Mensagens

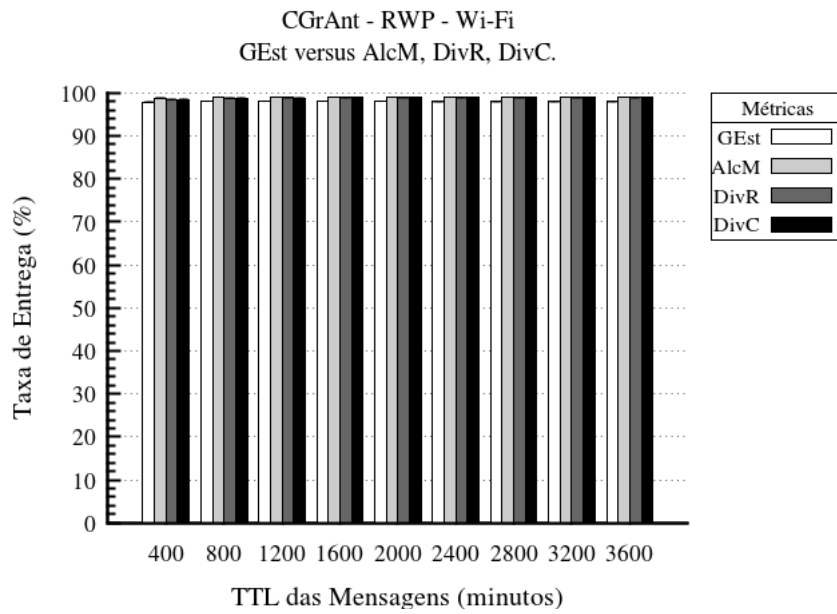
Observa-se na Figura 12a a Taxa de Entrega pela variação do TTL das Mensagens.

A Figura 12a mostra que para todos os valores de TTL das Mensagens, todas as métricas propostas (*AlcM*, *DivC* e *DivR*) apresentam maior Taxa de Entrega em comparação com a métrica *GEst*.

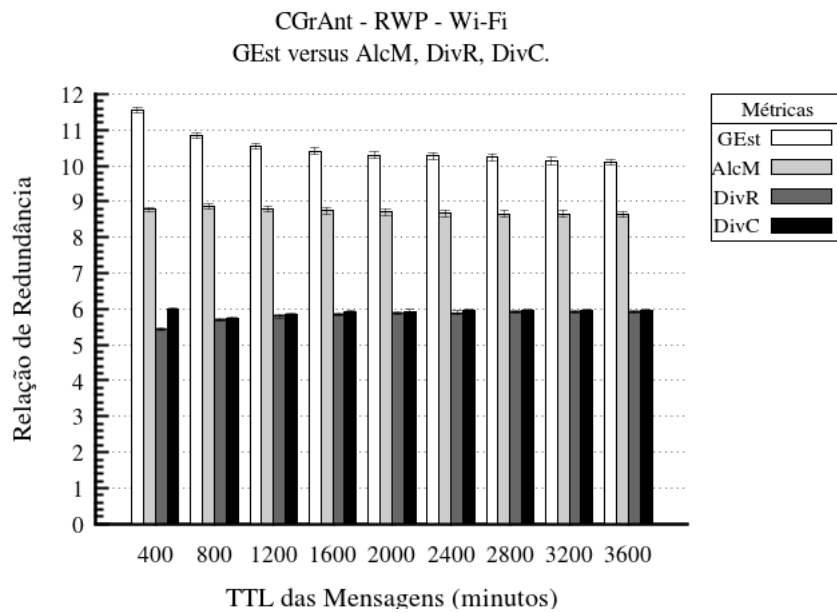
Para o TTL das mensagens de 3200 minutos e tamanho do *buffer* de 20 MB, a métrica *AlcM* alcançou a Taxa de Entrega de $98,97 \pm 0,09\%$. A métrica *DivR* apresentou a Taxa de Entrega de $98,91 \pm 0,1\%$ e a métrica *DivC* obteve $98,90 \pm 0,1\%$ enquanto que a métrica *GEst* atingiu Taxa de Entrega de $97,97 \pm 0,13\%$.

A Figura 12b mostra que a medida que o TTL das mensagens aumenta, a Relação de Redundância tende a diminuir. Além disso, para todas as variações do TTL das mensagens, a Relação de Redundância para todas as métricas propostas foi menor em comparação com a métrica *GEst*.

Para o TTL das mensagens de 400 minutos e tamanho do *buffer* de 20 MB, a métrica *DivR* apresentou a Relação de Redundância de somente $5,42 \pm 0,04$. A métrica *DivC* apresentou a Relação de Redundância de somente $5,98 \pm 0,04$ e a métrica *AlcM* obteve Relação de Redundância de $8,78 \pm 0,05$. A métrica *GEst* foi atingiu Relação de Redundância de $11,54 \pm 0,06$.



(a)



(b)

Figura 12: Desempenho das métricas para o cenário RWP utilizando interface Wi-Fi apresentando a Taxa de Entrega e Relação de Redundância pela variação do *TTL* das Mensagens.

4.4.2 Cenário PoI

Os resultados obtidos são apresentados conforme a interface de rede utilizada pelos nós. Foram utilizadas as interfaces Bluetooth e Wi-Fi.

As figuras são apresentadas pela ótica das duas medidas de desempenho utilizadas: Taxa de Entrega e Relação de Redundância.

4.4.2.1 Interface Bluetooth

As Figuras 13 e 14 mostram o desempenho das métricas *AlcM*, *DivC*, *DivR* e *GEst* para a interface Bluetooth.

4.4.2.1.1 Variação do Tamanho do *Buffer*

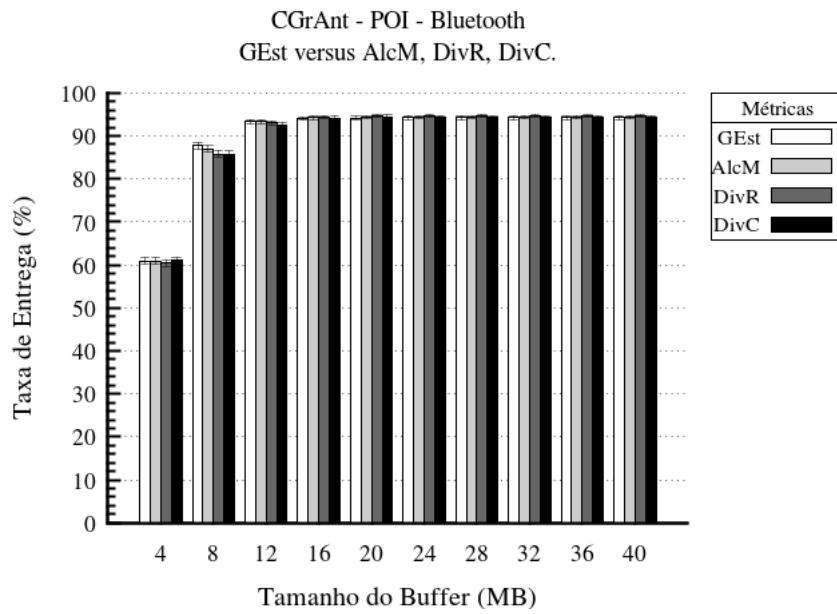
Observa-se na Figura 13a a Taxa de Entrega pela variação do Tamanho do *Buffer*.

Percebe-se que todas as métricas propostas, sem exceção, apresentam melhor desempenho com *buffer* de tamanho igual ou superior a 16 MB. Para *buffers* menores que 16 MB, a métrica *GEst* embora tenha atingido Taxa de Entrega maior que as métricas propostas, por outro lado, apresenta maior Relação de Redundância (ver Figura 13b).

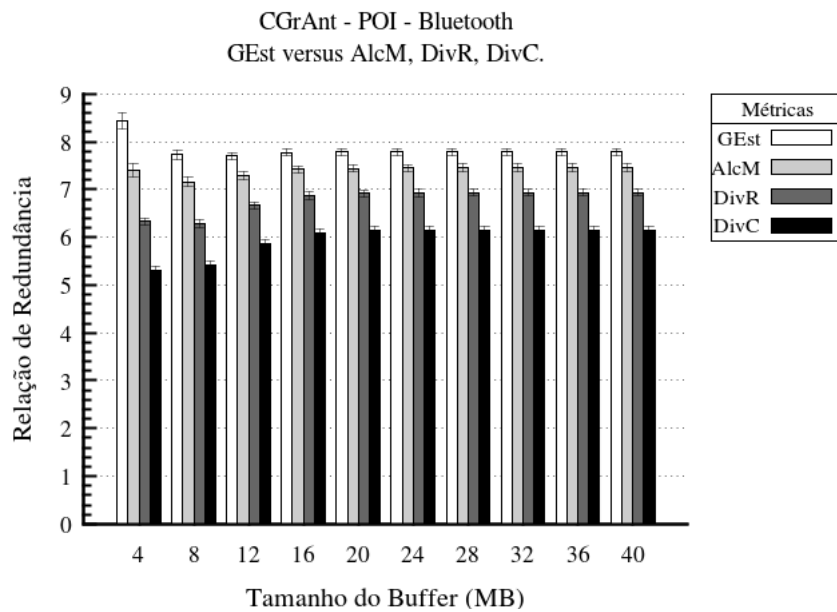
Para o tamanho do *buffer* de 20 MB e TTL da mensagens de 2.000 minutos, *DivR* alcançou a Taxa de Entrega de $94,64 \pm 0,34\%$. A métrica *DivC* apresentou a Taxa de Entrega de $94,43 \pm 0,39\%$ e a métrica *AlcM* gerou a Taxa de Entrega de $94,38 \pm 0,40\%$. *GEst* atingiu Taxa de Entrega de $94,18 \pm 0,37\%$.

A Figura 13b mostra que quanto maior o tamanho do *buffer*, e geral, menor a Relação de Redundância de Mensagens obtida pelas métricas. Além disso, para todas as variações do tamanho do *buffer*, a Relação de Redundância foi menor para as métricas propostas em comparação com a métrica *GEst*.

Para o tamanho do *buffer* de 16 MB e TTL da mensagens de 2.000 minutos, a métrica *DivC* apresentou a Relação de Redundância de somente $6,09 \pm 0,08$. A métrica *DivR* gerou a Relação de Redundância de somente $6,87 \pm 0,08$ enquanto que a métrica *AlcM* apresentou $7,42 \pm 0,08$. A métrica *GEst* atingiu Relação de Redundância de $7,77 \pm 0,07$.



(a)

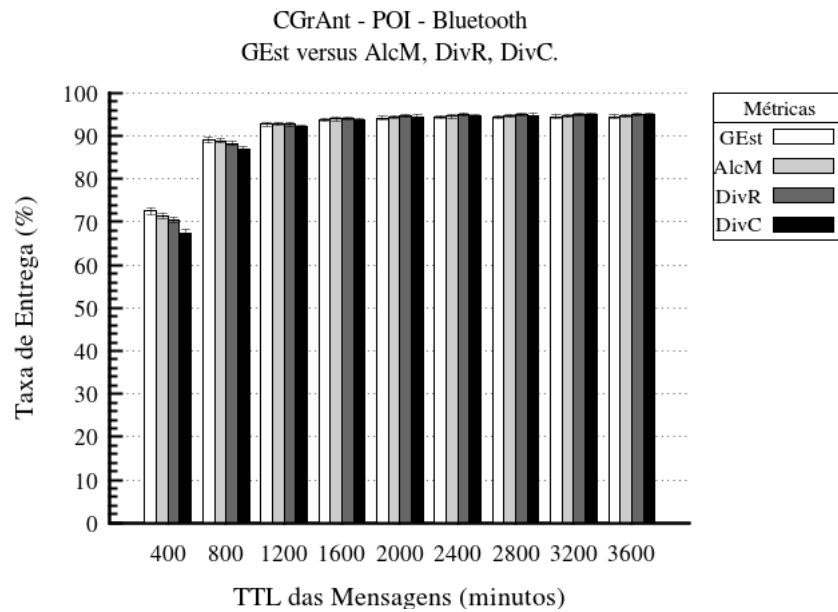


(b)

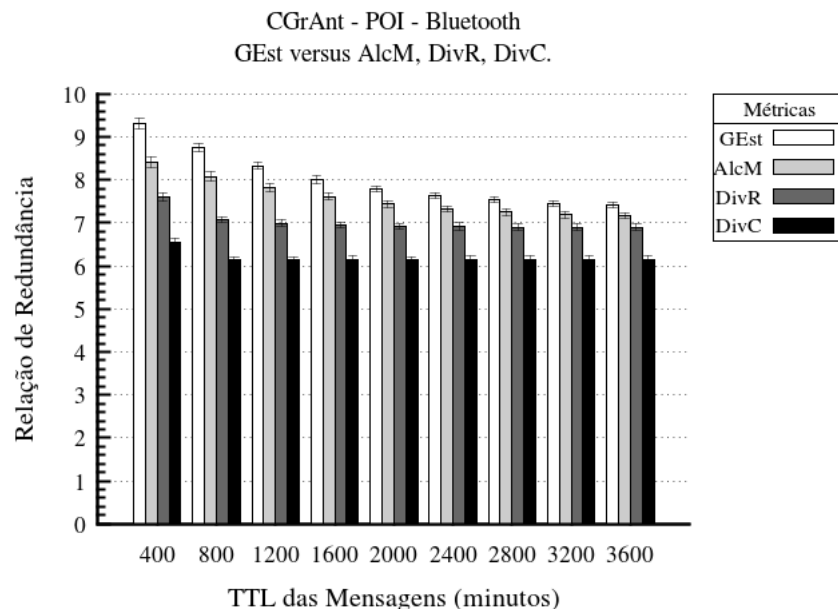
Figura 13: Desempenho das métricas para o cenário PoI utilizando interface Bluetooth apresentando a Taxa de Entrega e Relação de Redundância pela variação do Tamanho do *Buffer*.

4.4.2.1.2 Variação do TTL das Mensagens

Observa-se na Figura 14a a Taxa de Entrega pela variação do TTL das Mensagens enquanto que a Figura 14b mostra a Relação de Redundância pela variação do TTL das Mensagens.



(a)



(b)

Figura 14: Desempenho das métricas para o cenário PoI utilizando interface Bluetooth apresentando a Taxa de Entrega e Relação de Redundância pela variação do TTL das Mensagens.

A Figura 14a mostra que para valores de TTL das mensagens iguais ou superiores a 1600 minutos, todas as métricas propostas (*AlcM*, *DivC* e *DivR*) apresentam maior Taxa de Entrega.

Para o TTL das mensagens de 3.600 minutos e tamanho do *buffer* de 20 MB, a métrica *DivR* alcançou a Taxa de Entrega de $95,08 \pm 0,36\%$. A métrica *DivC* apresentou

a Taxa de Entrega de $94,96 \pm 0,34\%$ e a métrica *AlcM* gerou a Taxa de Entrega de $94,65 \pm 0,42\%$. A métrica *GEst* atingiu Taxa de Entrega de $94,44 \pm 0,42\%$.

A Figura 14b mostra que quanto maior o TTL das Mensagens, menor a Relação de Redundância de mensagens. Além disso, para todas as variações do TTL das mensagens, a Relação de Redundância foi menor para todas as métricas propostas.

Para o TTL das mensagens de 2.000 minutos e tamanho do *buffer* de 20 MB, a métrica *DivC* apresentou a Relação de Redundância de somente $6,14 \pm 0,07$. A métrica *DivR* apresentou a Relação de Redundância de $6,92 \pm 0,07$ e a métrica *AlcM* obteve Relação de Redundância de $7,44 \pm 0,07$. A métrica *GEst* atingiu Relação de Redundância de $7,79 \pm 0,07$.

4.4.2.2 Interface Wi-Fi

As Figuras 15 e 16 mostram o desempenho das métricas *AlcM*, *DivC*, *DivR* e *GEst* utilizando a interface Wi-Fi do nós.

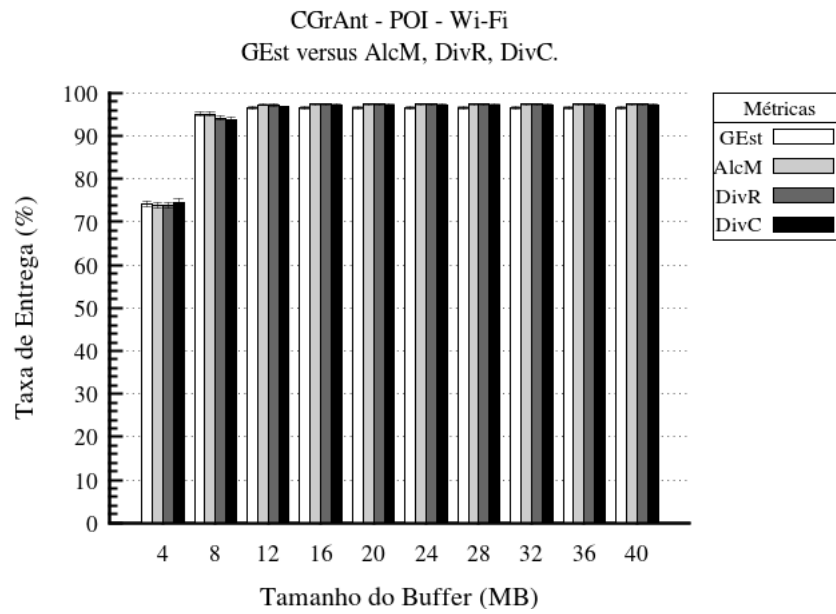
4.4.2.2.1 Variação do Tamanho do *Buffer*

Percebe-se que todas as métricas propostas, sem exceção, apresentam melhor desempenho para *buffer* com tamanho superior a 8 MB (ver Figura 15a). Para *buffers* menores que 8 MB, a métrica *GEst* embora tenha atingido Taxa de Entrega maior que as métricas propostas, apresenta maior Relação de Redundância (ver Figura 15b).

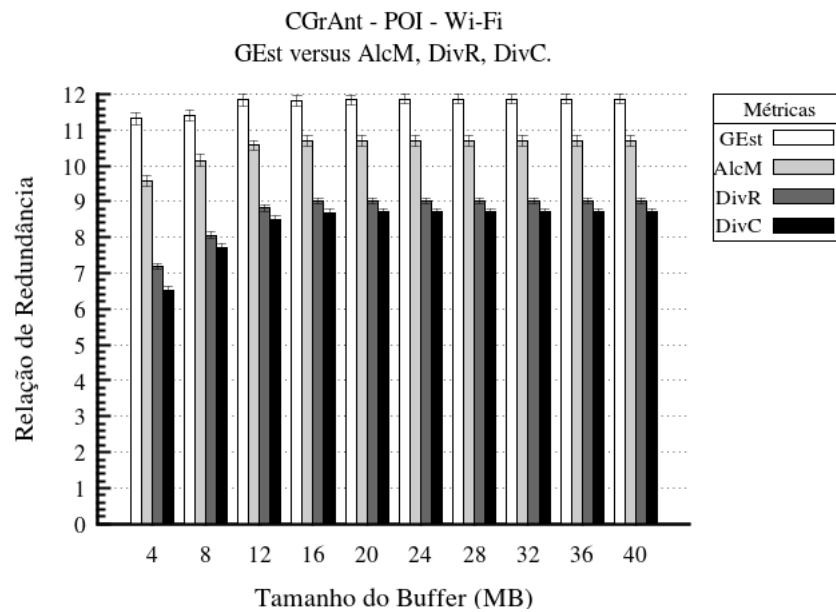
Para o tamanho do *buffer* de 24 MB e TTL da mensagens de 2.000 minutos, *AlcM* alcançou a Taxa de Entrega de $97,40 \pm 0,21\%$. A métrica *DivR* apresentou a Taxa de Entrega de $97,37 \pm 0,21\%$ e a métrica *DivC* gerou a Taxa de Entrega de $97,14 \pm 0,19\%$. *GEst* atingiu Taxa de Entrega de $96,58 \pm 0,24\%$.

A Figura 15b mostra que quanto maior o tamanho do *buffer*, a Relação de Redundância de Mensagens obtida pelas métricas aumenta e posteriormente tende a estabilizar. Além disso, para todas as variações do tamanho do *buffer*, a Relação de Redundância foi menor para as métricas propostas em comparação com a métrica *GEst*.

Para o tamanho do *buffer* de 20 MB e TTL da mensagens de 2.000 minutos, a métrica *DivC* apresentou a Relação de Redundância de somente $8,71 \pm 0,09$. A métrica *DivR* gerou a Relação de Redundância de somente $9,03 \pm 0,08$ enquanto que a métrica *AlcM* apresentou $10,69 \pm 0,15$. A métrica *GEst* atingiu Relação de Redundância de $11,83 \pm 0,13$.



(a)

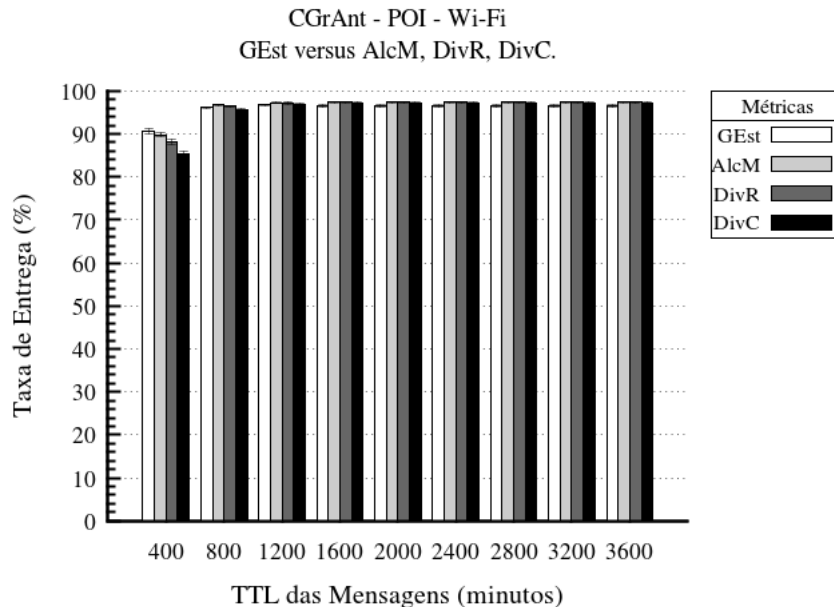


(b)

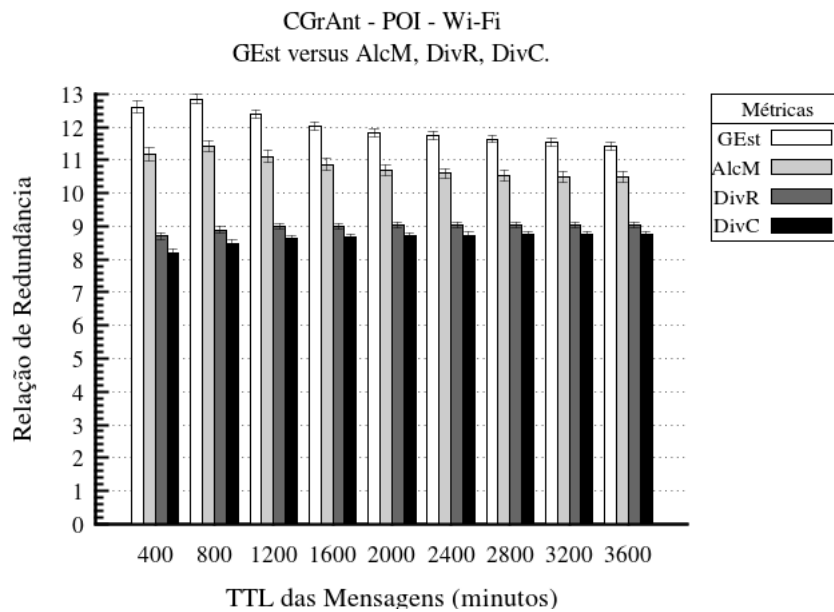
Figura 15: Desempenho das métricas para o cenário PoI utilizando interface Wi-Fi apresentando a Taxa de Entrega e Relação de Redundância pela variação do Tamanho do *Buffer*.

4.4.2.2.2 Variação do TTL das Mensagens

Observa-se na Figura 16a a Taxa de Entrega pela variação do TTL das Mensagens enquanto que a Figura 16b mostra a Relação de Redundância pela variação do TTL das Mensagens.



(a)



(b)

Figura 16: Desempenho das métricas para o cenário PoI utilizando interface Wi-Fi apresentando a Taxa de Entrega e Relação de Redundância pela variação do TTL das Mensagens.

A Figura 16a mostra que para valores de TTL das mensagens iguais ou superiores a 1200 minutos, as métricas propostas (*AlcM*, *DivC* e *DivR*) apresentam maior Taxa de Entrega.

Para o TTL das mensagens de 3200 minutos e tamanho do *buffer* de 20 MB, a métrica *DivR* alcançou a Taxa de Entrega de $97,38 \pm 0,2\%$. A métrica *AlcM* apresentou

a Taxa de Entrega de $97,36 \pm 0,25\%$ e a métrica *DivC* gerou a Taxa de Entrega de $97,16 \pm 0,2\%$. A métrica *GEst* atingiu Taxa de Entrega de $96,50 \pm 0,22\%$.

A Figura 16b mostra que quanto maior o TTL das mensagens, em geral, menor a Relação de Redundância de mensagens. Além disso, para todas as variações do TTL das Mensagens, a Relação de Redundância foi menor para todas as métricas propostas.

Para o TTL das mensagens de 400 minutos e tamanho do *buffer* de 20 MB, a métrica *DivC* apresentou a Relação de Redundância de somente $8,21 \pm 0,11$. A métrica *DivR* apresentou a Relação de Redundância de somente $8,70 \pm 0,1$ e a métrica *AlcM* obteve Relação de Redundância de $11,16 \pm 0,2$. A métrica *GEst* atingiu a Relação de Redundância de $12,61 \pm 0,17$.

4.4.3 Cenário WD

Os resultados obtidos são apresentados conforme a interface de rede utilizada pelos nós. Foram utilizadas as interfaces Bluetooth e Wi-Fi.

As figuras são apresentadas pela ótica das duas medidas de desempenho utilizadas: Taxa de Entrega e Relação de Redundância.

4.4.3.1 Interface Bluetooth

As Figuras 17 e 18 mostram o desempenho das métricas *AlcM*, *DivC*, *DivR* e *GEst* para a interface Bluetooth.

4.4.3.1.1 Variação do Tamanho do *Buffer*

Observa-se na Figura 17a a Taxa de Entrega pela variação do Tamanho do *Buffer*. Sob o aspecto da medida de desempenho Taxa de Entrega, as métricas propostas não superaram a métrica *GEst*.

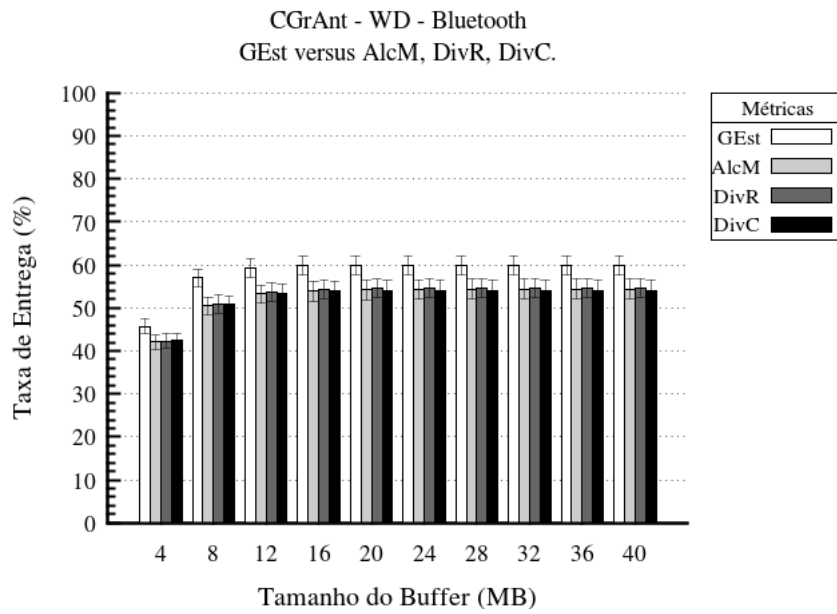
Para o tamanho do *buffer* de 8 MB e TTL da Mensagens de 2.000 minutos, a métrica *GEst* atingiu Taxa de Entrega de $57,01 \pm 2,09\%$. A métrica *DivC* alcançou a Taxa de Entrega de $50,87 \pm 2,03\%$. A métrica *DivR* apresentou a Taxa de Entrega de $50,84 \pm 2,11\%$ e a métrica *AlcM* gerou a Taxa de Entrega de $50,43 \pm 2,05\%$.

Quanto aos números absolutos de mensagens entregues aos seus destinos, para o tamanho do *buffer* de 8 MB e TTL das mensagens de 2.000 minutos, a métrica *GEst* entregou 1.953 ± 72 mensagens aos seus destinos. A métrica *DivC* entregou 1.742 ± 70 . A métrica *DivR* entregou 1.741 ± 73 e a métrica *AlcM* entregou 1.727 ± 71 . Comparando estes valores com o valor obtido pela métrica original, houve uma diferença de 213 ± 91 mensagens entre a métrica proposta que entregou mais mensagens (*DivC*) e de 230 ± 91 mensagens para a métrica proposta que entregou menos mensagens (*AlcM*).

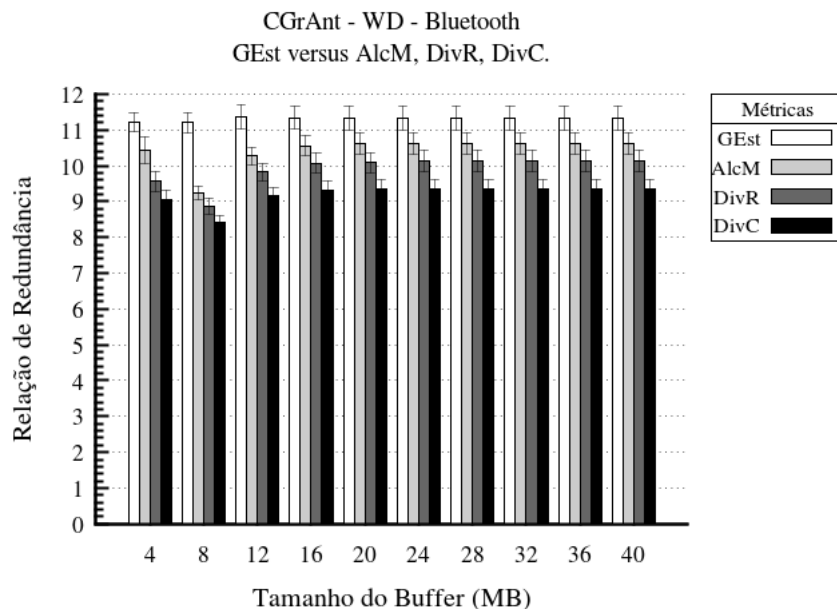
Percentualmente, uma diferença de $10,85 \pm 4,15\%$ menos mensagens entregues para a métrica *DivC*, $10,81 \pm 4,55\%$ menos mensagens entregues para a métrica *DivR* e $11,70 \pm 4,47\%$ menos mensagens entregues para a métrica *AlcM*.

Para o tamanho do *buffer* de 8 MB e TTL das mensagens de 2.000 minutos, a métrica *GEst* replicou 23.827 ± 938 mensagens. A métrica *DivC* replicou 16.401 ± 657 . A métrica *DivR* replicou 17.194 ± 720 e a métrica *AlcM* replicou 17.671 ± 727 .

Em termos comparativos com a métrica original em relação às métricas propostas, houve uma diferença de 6.156 ± 1.164 mensagens entre a métrica proposta que



(a)



(b)

Figura 17: Desempenho das métricas para o cenário WD utilizando interface Bluetooth apresentando a Taxa de Entrega e Relação de Redundância pela variação do Tamanho do *Buffer*.

replicou mais mensagens (*AlcM*) e 7.425 ± 1.115 mensagens para a métrica proposta que replicou menos mensagens (*DivC*).

Em termos percentuais, a métrica *DivC* replicou $31,06 \pm 3,89\%$ menos mensagens. A métrica *DivR* replicou $27,75 \pm 3,81\%$ menos mensagens enquanto que a métrica *AlcM* replicou $25,72 \pm 4,25\%$ menos mensagens que a métrica *GEst*.

Diante disso, vemos que as novas métricas apresentaram um desempenho até $11,70 \pm 4,47\%$ (métrica *AlcM*) menor que a métrica original no que refere a números absolutos de mensagens entregues. No entanto, apresenta ganho de até $31,06 \pm 3,89\%$ menos mensagens replicadas na rede (métrica *DivC*).

Sob o aspecto da medida de desempenho Relação de Redundância, todas as métricas propostas apresentam resultados superiores que a métrica *GEst* para *buffers* maiores que 4 MB.

A Figura 17b mostra que para todas as variações do tamanho do *buffer* dos nós a Relação de Redundância obtida pelas métrica propostas foi menor em comparação com a métrica original.

Para o tamanho do *buffer* de 8 MB e TTL das mensagens de 2.000 minutos, a métrica *DivC* apresentou a Relação de Redundância de somente $8,41 \pm 0,19$. A métrica *DivR* apresentou a Relação de Redundância de apenas $8,87 \pm 0,22$ e a métrica *AlcM* obteve Relação de Redundância de $9,23 \pm 0,18$. Para efeito comparativo, a métrica *GEst* atingiu a Relação de Redundância de $11,20 \pm 0,28$.

4.4.3.1.2 Variação do TTL das Mensagens

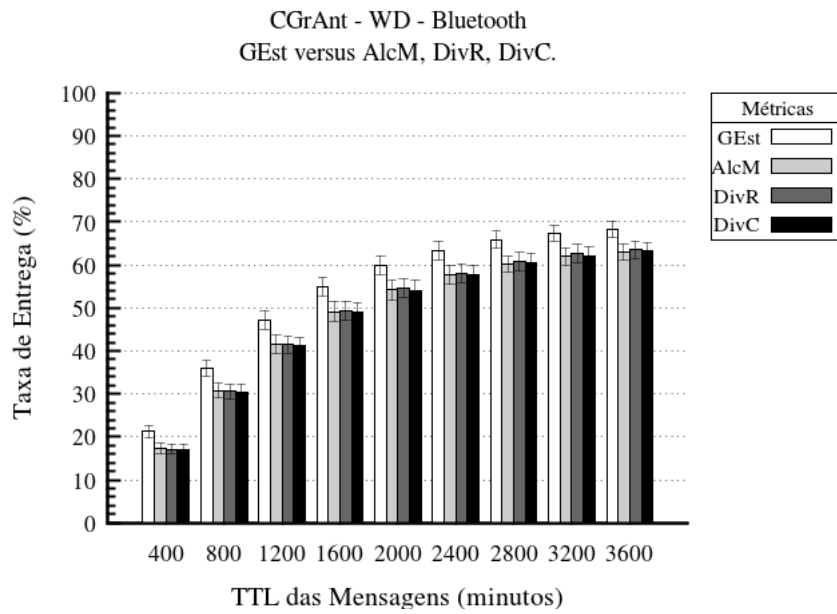
Observa-se na Figura 18a a Taxa de Entrega pela variação do TTL das Mensagens.

Sob o aspecto Taxa de Entrega de mensagens, as métricas propostas não superaram a métrica *GEst*.

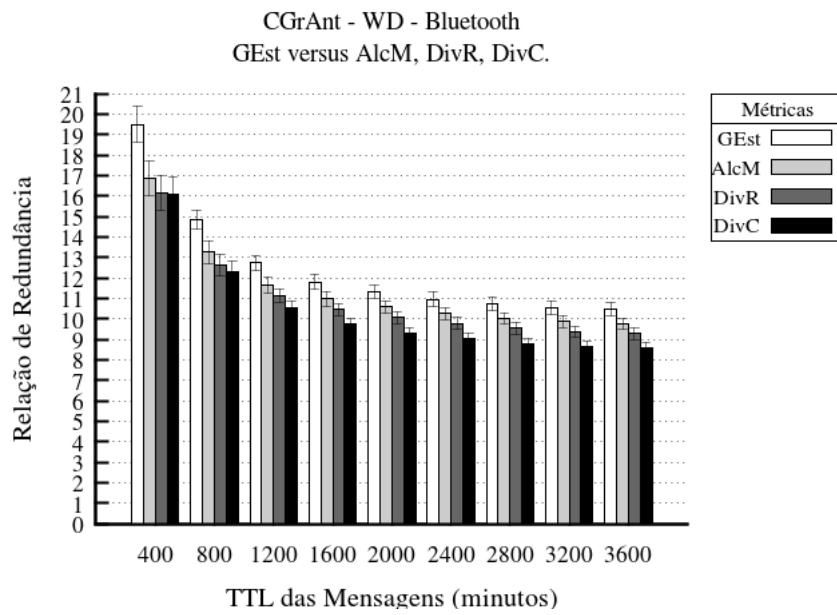
Para o TTL das mensagens de 3.200 minutos e tamanho do *buffer* de 20 MB, a métrica *GEst* atingiu Taxa de Entrega de $67,33 \pm 1,86\%$. A métrica *DivR* alcançou a Taxa de Entrega de $62,61 \pm 2,14\%$. A métrica *DivC* apresentou a Taxa de Entrega de $62,18 \pm 2,18\%$ e a métrica gerou a Taxa de Entrega de $62,00 \pm 1,98\%$.

A Figura 18b mostra que quanto maior o TTL da mensagem, menor a Relação de Redundância de mensagens. Além disso, para todas as variações do TTL da mensagem, a Relação de Redundância foi menor para todas as métricas propostas em comparação com a métrica *GEst*.

Para o TTL das mensagens de 800 minutos e tamanho do *buffer* de 20 MB, a métrica *DivC* apresentou a Relação de Redundância de $12,32 \pm 0,5$. A métrica *DivR* apresentou a Relação de Redundância de $12,62 \pm 0,53$ e a métrica *AlcM* obteve Relação de Redundância de $13,27 \pm 0,54$. Para efeito comparativo, a métrica *GEst* atingiu Relação de Redundância de $14,87 \pm 0,48$.



(a)



(b)

Figura 18: Desempenho das métricas para o cenário WD utilizando interface Bluetooth apresentando a Taxa de Entrega e Relação de Redundância pela variação do TTL das Mensagens.

4.4.3.2 Interface Wi-Fi

As Figuras 19 e 20 mostram o desempenho das métricas *AlcM*, *DivC*, *DivR* e *GEst* utilizando a interface Wi-Fi dos nós.

4.4.3.2.1 Variação do Tamanho do *Buffer*

Observa-se na Figura 19a a Taxa de Entrega pela variação do Tamanho do *Buffer*.

O mesmo comportamento observado para a interface Bluetooth (Seção 4.4.3.1) ocorre quando utilizada a interface Wi-Fi: sob o aspecto da medida de desempenho Taxa de Entrega, as métricas propostas não superaram a métrica *GEst*.

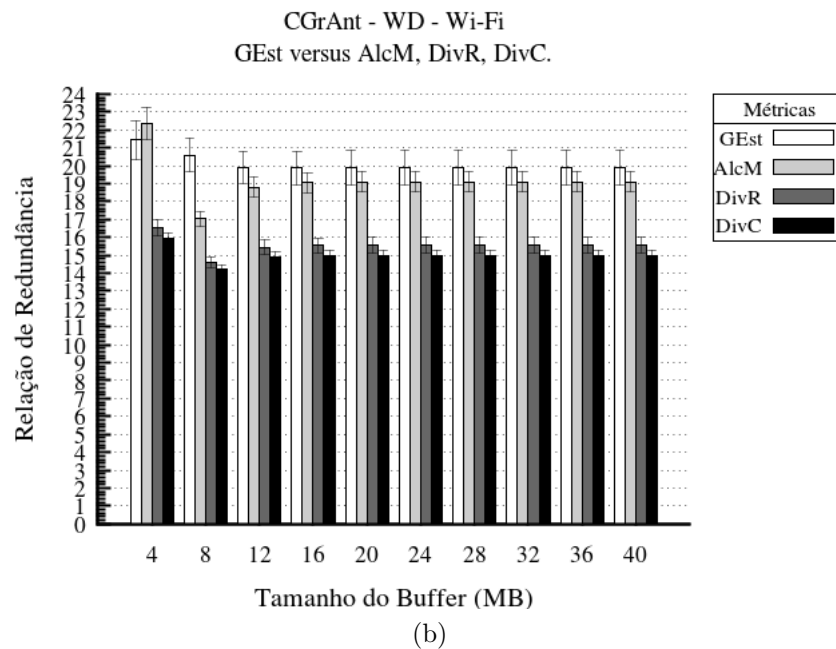
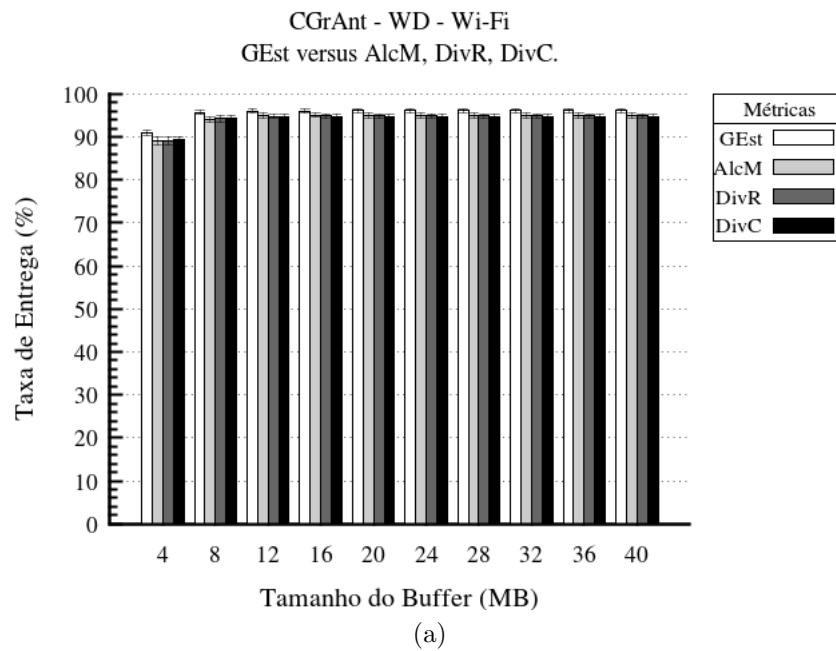


Figura 19: Desempenho das métricas para o cenário WD utilizando interface Wi-Fi apresentando a Taxa de Entrega e Relação de Redundância pela variação do Tamanho do *Buffer*.

Para o tamanho do *buffer* de 8 MB e TTL das Mensagens de 2.000 minutos, a métrica *GEst* atingiu Taxa de Entrega de $95,73 \pm 0,51\%$. A métrica *DivC* alcançou a Taxa de Entrega de $94,28 \pm 0,66\%$. A métrica *DivR* apresentou a Taxa de Entrega de $94,22 \pm 0,65\%$ e a métrica *AlcM* gerou a Taxa de Entrega de $94,12 \pm 0,62\%$.

Em termos de valores absolutos de entrega de mensagens, para o tamanho do *buffer* de 8 MB e TTL das Mensagens de 2.000 minutos, a métrica *GEst* entregou 3.279 ± 17 mensagens aos seus destinos. A métrica *DivC* entregou 3.230 ± 22 . A métrica *DivR* entregou 3.227 ± 22 e a métrica *AlcM* entregou 3.224 ± 21 . Comparando estes valores com o valor obtido pela métrica original, houve uma diferença de apenas 49 ± 27 mensagens entre a métrica proposta que entregou mais mensagens (métrica *DivC*) e de apenas 55 ± 27 mensagens para a métrica proposta que entregou menos mensagens (métrica *AlcM*).

Percentualmente, uma diferença de apenas $1,51 \pm 0,83\%$ menos mensagens entregues para a métrica *DivC*, $1,58 \pm 0,91\%$ para a métrica *DivR* e $1,68 \pm 0,84\%$ menos mensagens entregues para a métrica *AlcM*.

Em termos de valores absolutos de mensagens replicadas, o ganho dado ao protocolo CGrAnt supera a perda pelo menor número absoluto de mensagens entregues.

Para o tamanho do *buffer* de 8 MB e TTL das mensagens de 2.000 minutos, a métrica *GEst* replicou 70.777 ± 3.223 mensagens aos seus destinos. A métrica *DivC* replicou 49.102 ± 903 . A métrica *DivR* replicou 50.341 ± 1.126 e a métrica *AlcM* replicou 58.123 ± 1.486 .

Em termos comparativos com a métrica original em relação as métricas propostas, houve uma diferença de 12.654 ± 3.592 mensagens entre a métrica proposta que replicou mais mensagens (métrica *AlcM*) e 21.675 ± 3.566 mensagens para a métrica proposta que replicou menos mensagens (métrica *DivC*).

Em termos percentuais, a métrica *DivC* replicou $30,47 \pm 3,74\%$ menos mensagens. A métrica *DivR* replicou $28,73 \pm 3,53\%$ menos mensagens enquanto que a métrica *AlcM* replicou $17,71 \pm 4,41\%$ menos mensagens que a métrica *GEst*.

Diante disso, vemos que as novas métricas apresentaram um desempenho até $1,68 \pm 0,84\%$ menor que a métrica original no que refere ao números absolutos de mensagens entregues. No entanto, apresentando ganho de até $30,47 \pm 3,74\%$ menos mensagens replicadas na rede.

Sob o aspecto da medida de desempenho Relação de Redundância, todas as métricas propostas apresentam resultados superiores que a métrica *GEst* para *buffers* maiores que 4 MB.

A Figura 19b mostra que a medida que o tamanho do *buffer* aumenta, a Relação de Redundância obtida pelas métricas propostas tende a estabilizar. As métricas propostas mantêm desempenho superior à métrica *GEst* para todos os *buffers* maiores que 4 MB, ou seja, a Relação de Redundância é menor para as métricas propostas.

Para o tamanho do *buffer* de 8 MB e TTL das mensagens de 2.000 minutos, a métrica *DivC* apresentou a Relação de Redundância de somente $14,20 \pm 0,24$. A métrica *DivR* apresentou a Relação de Redundância de apenas $14,60 \pm 0,32$ e a métrica *AlcM* obteve Relação de Redundância de $17,03 \pm 0,44$. Para efeito comparativo, a métrica *GEst* atingiu Relação de Redundância de $20,58 \pm 0,95$.

4.4.3.2.2 Variação do TTL das Mensagens

Observa-se na Figura 20a a Taxa de Entrega pela variação do do TTL das Mensagens.

Sob o aspecto da medida Taxa de Entrega, as métricas propostas não superaram a métrica *GEst*. Este comportamento foi observado nos resultados para a interface Bluetooth (Seção 4.4.3.1).

Para o TTL das mensagens de 3.200 minutos e tamanho do *buffer* de 20 MB, a métrica *GEst* atingiu Taxa de Entrega de $96,19 \pm 0,44\%$. A métrica *AlcM* alcançou a Taxa de Entrega de $95,40 \pm 0,47\%$. A métrica *DivC* apresentou a Taxa de Entrega de $95,24 \pm 0,55\%$ e a métrica *DivR* gerou a Taxa de Entrega de $95,23 \pm 0,44\%$.

No entanto, sob o aspecto da Relação de Redundância, todas as métricas propostas apresentam resultados superiores que a métrica *GEst*.

A Figura 20b mostra que quanto maior o TTL da mensagem, menor a Relação de Redundância. Para todas as variações do TTL da Mensagem, a Relação de Redundância foi menor para todas as métricas propostas.

Para o TTL das mensagens de 800 minutos e Tamanho do *Buffer* de 20 MB, a métrica *DivC* apresentou a Relação de Redundância de somente $15,89 \pm 0,29$. A métrica *DivR* apresentou a Relação de Redundância de apenas $16,46 \pm 0,43$ e a métrica *AlcM* obteve Relação de Redundância de $19,91 \pm 0,67$. Para efeito comparativo, a métrica *GEst* foi incluída no gráfico e atingiu Relação de Redundância de $21,44 \pm 1,11$.

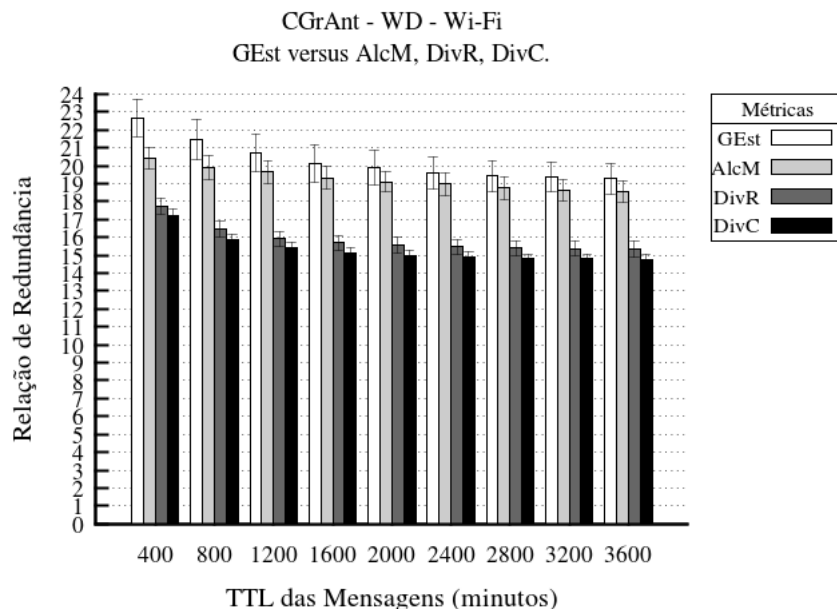
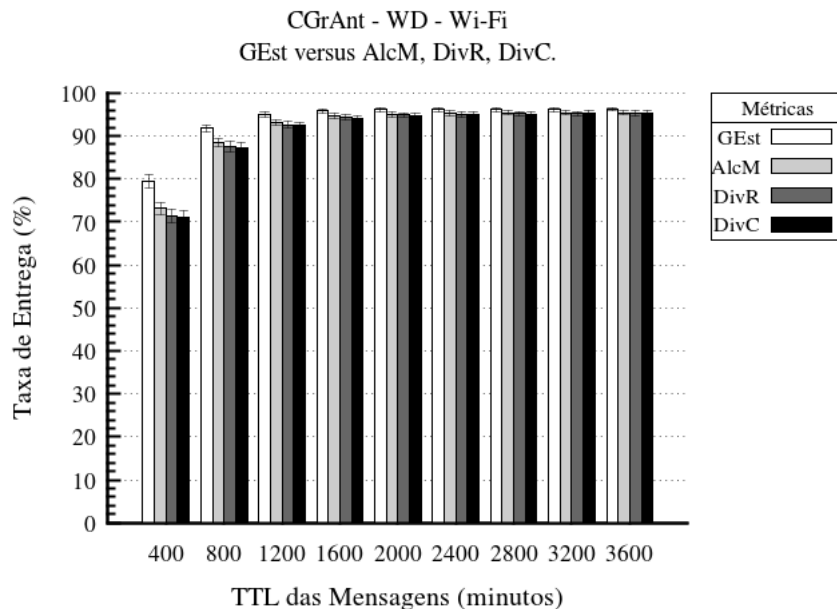


Figura 20: Desempenho das métricas para o cenário WD utilizando interface Wi-Fi apresentando a Taxa de Entrega e Relação de Redundância pela variação do TTL das Mensagens.

4.5 Discussão final dos resultados

Com os resultados apresentados no presente capítulo e conforme apresentado nas Tabelas A1 e A2 do Apêndice A, para todos os três cenários (RWP, PoI e WD), para todas as variações do tamanho do *buffer* e TTL das mensagens e ambas as interfaces de comunicação (Bluetooth e Wi-Fi), as três métricas propostas (*AlcM*, *DivR* e *DivC*)

obtiveram melhor desempenho do que a métrica *GEst* no que se à Relação de Redundância de mensagens. Em relação à medida de desempenho Taxa de Entrega de mensagens, para o cenário RWP, para todas as variações do tamanho do *buffer* (interface Bluetooth) e todas as variações do tamanho do *buffer* iguais ou superiores a 8 MB (interface Wi-Fi) e para todas as variações do TTL das Mensagens (ambas interfaces), as métricas propostas obtiveram Taxa de Entrega maior que a métrica *GEst*. Para o cenário PoI para todas as variações do tamanho do *buffer* superiores a 12 MB (Bluetooth) e superiores a 8 MB (Wi-Fi) e para todas as variações do TTL das Mensagens superiores a 1600 minutos (Bluetooth) e superiores a 800 minutos (Wi-Fi), as métricas propostas obtiveram Taxa de Entrega maior que a métrica *GEst*. Apenas no cenário WD as métricas propostas entregaram menos mensagens que a métrica *GEst*.

A Tabela 7 apresenta o ganho de desempenho obtido pelas métricas propostas em relação à métrica *GEst*, considerando um *buffer* de 20 MB e TTL de 2000 minutos.

Tabela 7: Ganho de desempenho obtido pelas métricas propostas em relação à métrica *GEst* para as medidas Relação de Redundância e Taxa de Entrega de Mensagens.

Ganho de Desempenho das Métricas Propostas em relação à Métrica Gest						
Cenários/Métricas	<i>AlcM</i> (%)		<i>DivR</i> (%)		<i>DivC</i> (%)	
	Relação de Redundância	Taxa de Entrega	Relação de Redundância	Taxa de Entrega	Relação de Redundância	Taxa de Entrega
RWP Bluetooth	10,73±2,57	5,90±2,39	15,67±1,81	4,31±2,76	14,43±2,55	4,53±2,66
RWP Wi-fi	9,13±2,15	1,03±0,14	42,84±1,26	0,89±0,14	42,31±1,18	0,89±0,13
PoI Bluetooth	4,55±1,08	0,21±0,58	11,18±1,16	0,49±0,5	21,17±1,27	0,26±0,47
PoI Wi-fi	10,31±1,47	1±0,32	24,29±1,12	0,98±0,34	26,96±1,18	0,73±0,24
WD Bluetooth	6,22±4,01	-9,31±5,78	10,89±4,03	-8,78±4,39	17,54±3,54	-9,58±4,89
WD Wi-fi	3,69±5,59	-1,09±0,73	21,51±4,48	-1,29±0,85	24,4±4,35	-1,40±0,7

Em relação à medida de desempenho Relação de Redundância, as métricas propostas (*AlcM*, *DivC* e *DivR*) em comparação com a métrica *GEst* obtiveram os seguintes ganhos em comparação com a métrica *GEst*:

- Cenário RWP: redução de 10,73 ± 2,57% (interface Bluetooth) e 9,13 ± 2,15% (interface Wi-Fi) para a métrica *AlcM*, 15,67 ± 1,81% (**Bluetooth**) e 42,84 ± 1,26% (**Wi-Fi**) para a métrica *DivR* e 14,43 ± 2,55% (Bluetooth) e 42,31 ± 1,18% (Wi-Fi) para a métrica *DivC*;
- Cenário PoI: redução de 4,55 ± 1,08% (Bluetooth) e 10,31 ± 1,47% (Wi-Fi) para a métrica *AlcM*, 11,18 ± 1,16% (Bluetooth) e 24,29 ± 1,12% (Wi-Fi) para a métrica *DivR* e 21,17 ± 1,27% (**Bluetooth**) e 26,96 ± 1,18% (**Wi-Fi**) para a métrica *DivC*;
- Cenário WD: redução de 6,22 ± 4,01% (Bluetooth) e 3,69 ± 5,59% (Wi-Fi) para a métrica *AlcM*, 10,89 ± 4,03% (Bluetooth) e 21,51 ± 4,48% (Wi-Fi) para a métrica *DivR* e 17,54 ± 3,54% (**Bluetooth**) e 24,4 ± 4,35% (**Wi-Fi**) para a métrica *DivC*.

Para o cenário WD, as métricas propostas superaram a métrica *GEst* no que se refere a Relação de Redundância de Mensagens. No melhor caso, obtido pela métrica *DivR*, no cenário RWP, houve uma redução de 15,67 ± 1,81% (interface Bluetooth) e 42,84 ± 1,26% (interface Wi-Fi) na Relação de Redundância de mensagens, o que representa uma redução de 3.667 ± 884 (Bluetooth) e 64.317 ± 1.173 (Wi-Fi) réplicas de mensagens na rede.

Em relação à medida de desempenho Taxa de Entrega, as métricas propostas ($AlcM$, $DivC$ e $DivR$) em comparação com a métrica $GEst$ obtiveram os seguintes resultados:

- Cenário RWP: aumento de $5,90 \pm 2,39\%$ (**interface Bluetooth**) e $1,03 \pm 0,14\%$ (**interface Wi-Fi**) para a métrica $AlcM$, $4,31 \pm 2,76\%$ (Bluetooth) e $0,89 \pm 0,14\%$ (Wi-Fi) para a métrica $DivR$ e $4,53 \pm 2,66\%$ (Bluetooth) e $0,89 \pm 0,13\%$ (Wi-Fi) para a métrica $DivC$;
- Cenário PoI: aumento de $0,21 \pm 0,58\%$ (Bluetooth) e $1 \pm 0,32\%$ (**Wi-Fi**) para a métrica $AlcM$, $0,49 \pm 0,5\%$ (**Bluetooth**) e $0,98 \pm 0,34\%$ (Wi-Fi) para a métrica $DivR$ e $0,26 \pm 0,47\%$ (Bluetooth) e $0,73 \pm 0,24\%$ (Wi-Fi) para a métrica $DivC$;
- Cenário WD: diminuição de $9,31 \pm 5,78\%$ (Bluetooth) e $1,09 \pm 0,73\%$ (**Wi-Fi**) para a métrica $AlcM$, $8,78 \pm 4,39\%$ (**Bluetooth**) e $1,29 \pm 0,85\%$ (Wi-Fi) para a métrica $DivR$ e $9,58 \pm 4,89\%$ (Bluetooth) e $1,40 \pm 0,7\%$ (Wi-Fi) para a métrica $DivC$.

Conforme pode ser observado, apenas no cenário WD as métricas propostas entregaram menos mensagens que a métrica $GEst$. Porém, a redução na Taxa de Entrega foi, no pior caso, para a métrica $DivC$, de $9,58 \pm 4,89\%$ na interface Bluetooth e $1,40 \pm 0,7\%$ na interface Wi-Fi. Isto é, em números absolutos, 198 ± 101 e 46 ± 23 mensagens deixaram de ser entregues ao seus destinos finais ao utilizar a interface Bluetooth e Wi-Fi, respectivamente. No entanto, no que se refere a Relação de Redundância de Mensagens em comparação com a métrica $GEst$, ao utilizar a métrica $DivC$ há uma redução de $17,54 \pm 3,54\%$ na interface Bluetooth e $24,4 \pm 4,35\%$ na interface Wi-Fi. Isso representa uma redução de 6.153 ± 1.369 e 16.829 ± 3.702 réplicas de mensagens em circulação na rede ao utilizar a interface Bluetooth e Wi-Fi, respectivamente.

Capítulo 5

Conclusão

5.1 Considerações

O protocolo CGrAnt faz uso de um sistema híbrido que utiliza AC e ACO para realizar buscas locais e globais em um ambiente de rede complexo e dinâmico. O espaço de crenças do AC utilizado pelo CGrAnt é composto pelos conhecimentos Situacional, Histórico e de Domínio. O espaço populacional é representado pelo ACO.

O protocolo CGrAnt dispõe de métricas que possibilitam a comunicação entre o espaço populacional e o espaço de crenças distribuído entre os nós da rede. As métricas e indicadores também são utilizados no sentido de caracterizar a utilidade dos nós como encaminhadores de mensagens.

O uso da métrica *GEst* para analisar a dinâmica local da mobilidade dos nós pelo conhecimento de Domínio do CGrAnt apresenta algumas restrições que podem indicar falso-positivos ou falso-negativos quando da seleção dos melhores nós encaminhadores de mensagens.

Diante desse contexto, este trabalho propõe métricas alternativas para o conhecimento de Domínio do protocolo CGrAnt, principalmente para atuar nos casos onde não há informação global sobre a rede, somente informação local, ou seja, informação dos nós e de seus vizinhos a um salto.

As métricas propostas foram avaliadas em três cenários diferentes. Para cada cenário, duas variações de interface rede foram utilizadas: interface Bluetooth e interface Wi-Fi. Cada cenário com um modelo de mobilidade distinto: o primeiro cenário utilizado foi o cenário RWP, que utiliza principalmente o modelo de movimento *Random WayPoint*. O segundo cenário, o cenário PoI, utiliza o modelo de movimento *ShortestPathMapBased-Movement*. Por fim, o cenário WD utiliza principalmente o modelo de movimento baseado em atividades *Working Day Movement model*.

Durante os experimentos, observou-se que as novas métricas adicionaram ganho ao desempenho do CGrAnt no que se refere à redução no número de réplicas de mensagens na rede para todos os cenários utilizados e houve aumento na taxa de entrega para os cenários RWP e PoI. Por exemplo, no cenário RWP, com *buffer* de 20 MB e TTL de 2000 minutos, a métrica *DivR* obteve um aumento de $4,31 \pm 2,76\%$ (interface Bluetooth) e $0,89 \pm 0,14\%$ (interface Wi-Fi) na taxa de mensagens entregues e uma redução de $15,67 \pm 1,81\%$ (interface Bluetooth) e $42,84 \pm 1,26\%$ (interface Wi-Fi) na relação de redundância de mensagens. Apenas no cenário WD, as métricas propostas entregaram

menos mensagens que a métrica *GEst*. Considerando um *buffer* de 20 MB e TTL de 2000 minutos, no pior caso utilizando a métrica *DivC*, houve redução na Taxa de Entrega de mensagens de $9,58 \pm 4,89\%$ na interface Bluetooth e $1,40 \pm 0,7\%$ na interface Wi-Fi. Isto é, em números absolutos, 198 ± 101 e 46 ± 23 mensagens deixaram de ser entregues ao seus destinos finais ao utilizar a interface Bluetooth e Wi-Fi, respectivamente. Porém, o ganho oferecido ao protocolo CGrAnt com a métrica *DivC* no que se refere a Relação de Redundância de Mensagens é de $17,54 \pm 3,54\%$ (interface Bluetooth) e $24,4 \pm 4,35\%$ (interface Wi-Fi), o que representa uma redução de 6.153 ± 1.369 (interface Bluetooth) e 16.829 ± 3.702 (interface Wi-Fi) réplicas de mensagens em circulação na rede.

5.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros propõe-se o estudo de métricas alternativas à métrica *GEst* e as demais apresentadas neste trabalho, bem como, a análise de outros parâmetros de desempenho para avaliação das métricas propostas.

Outro estudo interessante inclui a capacidade de adaptação do protocolo a cenários de rede diversos, através da escolha dinâmica da métrica do conhecimento de Domínio que apresente o melhor desempenho e dos parâmetros para avaliar um nó com alto, médio ou baixo grau de mobilidade utilizados pelas métricas *GEst*, *AlcM*, *DivR* e *DivC*.

Por fim, sugere-se a avaliação de desempenho das métricas propostas em cenários que utilizem traços reais, extraídos de grandes massas de dados reais.

Referências Bibliográficas

ABABOU, M. et al. Beeantdtm: A nature inspired routing protocol for delay tolerant networks. In: **Microwave Symposium (MMS), 2014 14th Mediterranean**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–6.

ABABOU, M. et al. Energy efficient and effect of mobility on acdtn routing protocol based on ant colony. In: **Electrical and Information Technologies (ICEIT), 2015 International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 335–340.

AL-FAGIH, A. E.; HASSANEIN, H. S. **Routing Schemes for Delay-Tolerant Networks - An Applications Perspective**. Kingston, Ontario, Canada, 2012.

BAI, L. et al. Heterogeneous probabilistic model based spray routing protocol for delay tolerant networks. In: **Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2014 Sixth International Conf on**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 340–345.

CERF, V. et al. **Delay-Tolerant Networking Architecture**. April 2007. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc4838.txt>>.

DORIGO, M. **Optimization, Learning and Natural Algorithms**. Tese (Doutorado) — Politecnico di Milano, Milan, Italy, 1992.

DORIGO, M.; CARO, G. D. The Ant colony optimization meta-heuristic. In: **in New Ideas in Optimization**. [S.l.]: McGraw-Hill, 1999. p. 11–32.

DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, A. Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. **Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics**, v. 26, p. 29–41, Feb 1996.

EKMAN, F. et al. Working day movement model. In: **Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE Workshop on Mobility Models**. New York, NY, USA: ACM, 2008. (MobilityModels '08), p. 33–40. ISBN 978-1-60558-111-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1374688.1374695>>.

FALL, K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets. In: **Proceedings of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications**. New York, NY, USA: ACM, 2003. (SIGCOMM '03), p. 27–34. ISBN 1-58113-735-4. Disponível em: <<http://conferences.sigcomm.org/sigcomm/2003/papers/p27-fall.pdf>>.

FRANKLIN, B.; BERGERMAN, M. Cultural algorithms: concepts and experiments. **Evolutionally computation** 2000, v. 2, p. 1245–1251, Jul 2000. Disponível em: <<http://goo.gl/OTBfZf>>.

FREEMAN, L. C. Centrality in social networks conceptual clarification. **Social Networks**, p. 215, 1978.

GAMBARDELLA, L. M.; DORIGO, M. Solving symmetric and asymmetric TSPs by ant colonies. In: **Evolutionary Computation, 1996., Proceedings of IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 1996. p. 622–627.

GOSS, S. et al. Self-organized shortcuts in the argentine ant. **Naturwissenschaften**, v. 76, n. 12, p. 579–581, dez. 1989. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/bf00462870>>.

GROSSGLAUSER, M.; TSE, D. Mobility increases the capacity of ad-hoc wireless networks. In: **INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE**. [S.l.: s.n.], 2001. v. 3, p. 1360–1369 vol.3. ISSN 0743-166X.

HASANÇEBI, O.; ERBATUR, F. On efficient use of simulated annealing in complex structural optimization problems. **Acta Mechanica**, Springer-Verlag, v. 157, n. 1-4, p. 27–50, 2002. ISSN 0001-5970. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/BF01182153>>.

HOLLAND, J. **Adaptation in natural and artificial systems**. Second edition (first edition, 1975). USA: University of Michigan Press, 1975. 228 p.

HUA, D. et al. A DTN routing protocol based on hierarchy forwarding and cluster control. In: **Proceedings of the 2009 International Conference on Computational Intelligence and Security - Volume 02**. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2009. (CIS '09), p. 397–401. ISBN 978-0-7695-3931-7. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/CIS.2009.150>>.

HUANG, C.-M.; LAN, K.-C.; TSAI, C.-Z. A survey of opportunistic networks. In: **22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications - Workshops**. [S.l.: s.n.], 2008. p. 1672–1677.

JAYAKUMAR, G.; GANAPATHI, G. Reference point group mobility and random waypoint models in performance evaluation of manet routing protocols. **J. Comp. Sys., Netw., and Comm.**, Hindawi Publishing Corp., New York, NY, United States, v. 2008, p. 13:1–13:10, jan. 2008. ISSN 1687-7381. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2008/860364>>.

JOHARI, R.; MAHMOOD, D. Gaaco: Metaheuristic driven approach for routing in opp-net. In: **Computer Information Technology (GSCIT), 2014 Global Summit on**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–6.

JOHNSON, D.; MALTZ, D. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. In: IMIELINSKI, T.; KORTH, H. (Ed.). **Mobile Computing**. [S.l.]: Springer US, 1996, (The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, v. 353). p. 153–181. ISBN 978-0-7923-9697-0.

KARABOGA, D. **An idea based on honey bee swarm for numerical optimization.** Kayseri, Turkiye, October 2005.

KENNEDY, J.; EBERHART, R. Particle swarm optimization. In: **Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on.** [S.l.: s.n.], 1995. v. 4, p. 1942–1948 vol.4.

KERAMATI, A. et al. Cultural algorithm for feature selection. **Data Mining and Intelligent Information Technology Applications (ICMiA)**, p. 71–76, 2011.

KERÄNEN, A. **Opportunistic Network Environment Simulator.** May 2008. Special Assignment report, Helsinki University of Technology, Department of Communications and Networking. Disponível em: <<http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/pub/>>.

KERÄNEN, A.; OTT, J.; KÄRKKÄINEN, T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation. In: **Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques.** ICST, Brussels, Belgium: ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2009. (Simutools '09), p. 55:1–55:10. ISBN 978-963-9799-45-5.

KHABBAZ, M.; ASSI, C.; FAWAZ, W. Disruption-tolerant networking: A comprehensive survey on recent developments and persisting challenges. **Communications Surveys Tutorials, IEEE**, v. 14, n. 2, p. 607–640, Second 2012. ISSN 1553-877X.

KIRKPATRICK, S.; JR., C. D. G.; VECCHI, M. P. Optimization by simulated annealing. **Science**, v. 220, p. 671–680, May 1983.

KOZA, J. R. **Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection.** Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1992. ISBN 0-262-11170-5.

KUREICHIK, V.; KUREICHIK, V.; SOROKOLETOV, P. Analysis and a survey of evolutionary models. **Journal of Computer and Systems Sciences International**, v. 46, n. 5, p. 779–791, Oct 2007.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down.** 5. ed. [S.l.]: Pearson Education - Br, 2010. 654 p.

LINDGREN, A.; DORIA, A.; SCHÉLEN, O. Probabilistic routing in intermittently connected networks. **SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.**, v. 7, n. 3, p. 19–20, Jul. 2003.

MA, J. et al. Research on cultural algorithm for solving routing problem of mobile agent. **The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications**, v. 15, n. 4, p. 121 – 125, 2008. ISSN 1005-8885.

OLIVEIRA, J. de et al. The DTN Routing Problem: Exploitation versus Exploration of Solutions. In: **Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2015 IEEE 81st.** [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–6.

OPSAHL, T.; AGNEESSENS, F.; SKVORETZ, J. Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths. **Social Networks**, v. 32, n. 3, p. 245 – 251, 2010. ISSN 0378-8733. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378873310000183>>.

PATIL, S.; CHILLARGE, G. Route optimization in delay tolerant networks. In: **Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA), 2015 International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 265–269.

PELUSI, L.; PASSARELLA, A.; CONTI, M. Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks. **Communications Magazine, IEEE**, v. 44, n. 11, p. 134–141, Nov 2006.

REYNOLDS, R.; PENG, B. Cultural algorithms, modeling of how cultures learn to solve problems. **Tools with Artificial Intelligence**, v. 16, p. 166–172, Nov 2004.

REYNOLDS, R. G. An introduction to cultural algorithms. In: SEBALD, A. V.; FOGEL, L. J. (Ed.). **Proceedings of the Third Annual Conference on Evolutionary Programming**. San Diego, CA, USA: World Scientific Press, 1994. p. 131–139.

REYNOLDS, R. G. Cultural algorithms: Theory and applications. In: CORNE, D. et al. (Ed.). **New Ideas in Optimization**. Maidenhead, UK, England: McGraw-Hill Ltd., 1999. cap. Cultural Algorithms: Theory and Applications, p. 367–378. ISBN 0-07-709506-5.

REYNOLDS, R. G.; PENG, B. Cultural algorithms: computational modeling of how cultures learn to solve problems: an engineering example. **Cybernetics and Systems**, v. 36, n. 8, p. 753–771, 2005.

SADAT, N.; MOHIUDDIN, M.; UDDIN, Y. On bounded message replication in delay tolerant networks. In: **Networking Systems and Security (NSysS), 2015 International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–10.

SOUZA, D. **Apicultura: manual do agente de desenvolvimento rural**. 2. ed. Brasília: Sebrae, 2007.

SPYROPOULOS, T.; PSOUNIS, K.; RAGHAVENDRA, C. S. Spray and wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In: **Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking**. New York, NY, USA: ACM, 2005. (WDTN '05), p. 252–259. ISBN 1-59593-026-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1080139.1080143>>.

SUN, X.-M.; LV, X.-Y.; DUAN, X.-M. Novel QoS routing algorithm based on cultural-simulated annealing algorithm. In: **Intelligent Networks and Intelligent Systems, 2009. ICINIS '09. Second International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 209–212.

VAHDAT, A.; BECKER, D. **Epidemic Routing for Partially-Connected Ad Hoc Networks**. [S.l.], April 2000.

VENDRAMIN, A. C. B. K. **Cultural GrAnt: Um Protocolo de Roteamento baseado em Inteligência Coletiva para Redes Tolerantes a Atrasos**. Tese (Doutorado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

VENDRAMIN, A. C. B. K. et al. GrAnt: Inferring best forwarders from complex networks: Dynamics through a greedy ant colony optimization. **Computer Networks**, v. 56, p. 997–1015, 2012.

VENDRAMIN, A. C. B. K. et al. CGrAnt: a Swarm Intelligence-based Routing Protocol for Delay Tolerant Networks. In: **GECCO: Genetic and Evolutionary Computation Conference**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 33–34.

WARTHMAN, F. **Delay-Tolerant Networks (DTNs) - A Tutorial**. 2003. Disponível em: <<http://www.dtnrg.org/docs/tutorials/warthman-1.1.pdf>>.

ZHANG, M.-W.; SUN, X.-M.; LV, X.-Y. A qos routing algorithm based on culture-ant colony algorithm. In: **Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2010. v. 12, p. 198–201.

ZHANG, X. et al. Performance modeling of epidemic routing. In: BOAVIDA, F. et al. (Ed.). **NETWORKING 2006. Networking Technologies, Services, and Protocols; Performance of Computer and Communication Networks; Mobile and Wireless Communications Systems**. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2006, (Lecture Notes in Computer Science, v. 3976). p. 827—839. ISBN 978-3-540-34192-5.

ZYBA, G. et al. Dissemination in opportunistic mobile ad-hoc networks: The power of the crowd. In: **INFOCOM, 2011 Proceedings IEEE**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1179–1187. ISSN 0743-166X.

Apêndice A

Esta seção apresenta os resultados completos da execução das métricas *GEst*, *AlcM*, *DivR* e *DivC* nos cenários RWP, PoI e WD para as medidas de avaliação Taxa de Entrega e Relação de Redundância, variando o Tamanho do *Buffer* e variando o TTL das Mensagens.

A Tabela A1 apresenta os valores obtidos para a Taxa de Entrega e Relação de Redundância variando o Tamanho do *Buffer* e com TTL da Mensagem com tamanho fixo de 2.000 minutos. Na Tabela A2 são apresentados os valores obtidos variando o TTL das Mensagens e com *Buffer* de tamanho fixo de 20 MB.

Tabela A1: Variação do Tamanho do Buffer.

Resultados Obtidos – Variação do Tamanho do Buffer																
Cenários/Métricas	Gest				AlcM				DivR				DivC			
	Relação de Redundância		Taxa de Entrega		Relação de Redundância		Taxa de Entrega		Relação de Redundância		Taxa de Entrega		Relação de Redundância		Taxa de Entrega	
RWP																
Tamanho Buffer (MB)	Bluetooth															
4	13,88	±0,36	10,05	±0,25	8,41	±0,2	10,64	±0,29	8,27	±0,18	10,63	±0,28	8,32	±0,19	10,59	±0,27
8	10,77	±0,22	16,52	±0,33	7,61	±0,14	17,36	±0,36	7,39	±0,15	17,28	±0,4	7,44	±0,14	17,32	±0,38
12	10,00	±0,18	20,04	±0,36	8,14	±0,15	21,03	±0,41	7,78	±0,14	20,87	±0,44	7,87	±0,15	20,90	±0,47
16	9,71	±0,18	21,85	±0,37	8,44	±0,17	23,11	±0,45	8,02	±0,15	22,80	±0,41	8,13	±0,15	22,88	±0,43
20	9,53	±0,18	22,91	±0,44	8,50	±0,18	24,26	±0,45	8,03	±0,16	23,93	±0,46	8,15	±0,17	24,02	±0,47
24	9,39	±0,19	23,67	±0,46	8,45	±0,19	24,99	±0,49	7,97	±0,17	24,66	±0,48	8,09	±0,18	24,76	±0,49
28	9,27	±0,19	24,29	±0,47	8,36	±0,2	25,56	±0,51	7,89	±0,18	25,23	±0,49	8,00	±0,18	25,32	±0,5
32	9,17	±0,19	24,80	±0,46	8,29	±0,19	26,02	±0,49	7,81	±0,17	25,71	±0,48	7,93	±0,17	25,81	±0,49
36	9,09	±0,19	25,21	±0,49	8,22	±0,19	26,42	±0,5	7,75	±0,18	26,11	±0,51	7,86	±0,18	26,20	±0,51
40	9,03	±0,2	25,54	±0,49	8,18	±0,19	26,73	±0,48	7,70	±0,17	26,43	±0,5	7,82	±0,18	26,51	±0,5
Tamanho Buffer (MB)	Wi-Fi															
4	13,72	±0,17	70,44	±0,57	9,55	±0,09	71,31	±0,58	5,92	±0,04	69,79	±0,8	5,96	±0,04	69,94	±0,69
8	11,27	±0,09	92,30	±0,38	9,55	±0,1	96,77	±0,26	5,92	±0,04	96,94	±0,21	5,96	±0,04	96,99	±0,27
12	10,53	±0,06	97,55	±0,12	9,55	±0,09	98,76	±0,14	5,92	±0,04	98,68	±0,12	5,96	±0,04	98,69	±0,11
16	10,39	±0,1	98,01	±0,09	9,54	±0,09	98,95	±0,09	5,92	±0,04	98,85	±0,12	5,96	±0,04	98,86	±0,09
20	10,31	±0,09	98,02	±0,09	9,48	±0,08	99,03	±0,09	5,91	±0,04	98,90	±0,1	5,96	±0,04	98,89	±0,1
24	10,27	±0,07	98,03	±0,1	9,35	±0,09	99,05	±0,09	5,88	±0,04	98,90	±0,1	5,93	±0,04	98,90	±0,09
28	10,28	±0,07	98,04	±0,1	8,99	±0,1	99,05	±0,08	5,70	±0,04	98,90	±0,11	5,75	±0,04	98,90	±0,11
32	10,26	±0,08	98,02	±0,09	8,05	±0,08	99,07	±0,08	4,99	±0,05	98,90	±0,1	5,04	±0,06	98,91	±0,1
36	10,25	±0,07	98,00	±0,12	6,18	±0,08	99,05	±0,09	3,64	±0,04	98,91	±0,1	3,67	±0,05	98,91	±0,1
40	10,26	±0,07	98,02	±0,11	5,81	±0,08	99,04	±0,09	3,12	±0,04	98,91	±0,1	3,13	±0,04	98,91	±0,1
Poi																
Tamanho Buffer (MB)	Bluetooth															
4	8,43	±0,16	60,86	±0,76	7,40	±0,14	60,95	±0,79	6,33	±0,08	60,45	±0,74	5,31	±0,08	61,25	±0,59
8	7,73	±0,1	87,74	±0,71	7,16	±0,09	87,01	±0,76	6,27	±0,09	85,83	±0,66	5,43	±0,09	85,78	±0,72
12	7,70	±0,07	93,40	±0,47	7,30	±0,08	93,29	±0,51	6,67	±0,07	92,96	±0,53	5,87	±0,07	92,56	±0,56
16	7,77	±0,07	94,06	±0,39	7,42	±0,08	94,23	±0,4	6,87	±0,08	94,44	±0,35	6,09	±0,08	94,14	±0,41
20	7,79	±0,07	94,18	±0,37	7,44	±0,07	94,38	±0,41	6,92	±0,07	94,64	±0,34	6,14	±0,07	94,43	±0,39
24	7,79	±0,07	94,22	±0,42	7,45	±0,08	94,43	±0,39	6,93	±0,07	94,65	±0,36	6,15	±0,07	94,45	±0,37
28	7,78	±0,07	94,22	±0,42	7,45	±0,08	94,41	±0,4	6,93	±0,07	94,63	±0,36	6,15	±0,07	94,44	±0,38
32	7,79	±0,07	94,22	±0,42	7,45	±0,08	94,41	±0,4	6,93	±0,07	94,63	±0,36	6,15	±0,07	94,44	±0,38
36	7,79	±0,07	94,22	±0,42	7,45	±0,08	94,41	±0,4	6,93	±0,07	94,63	±0,36	6,15	±0,07	94,44	±0,38
40	7,79	±0,07	94,22	±0,42	7,45	±0,08	94,41	±0,4	6,93	±0,07	94,63	±0,36	6,15	±0,07	94,44	±0,38
Tamanho Buffer (MB)	Wi-Fi															
4	11,31	±0,16	74,24	±0,57	9,57	±0,14	73,88	±0,56	7,19	±0,09	73,92	±0,67	6,53	±0,12	74,63	±0,75
8	11,40	±0,14	95,08	±0,36	10,14	±0,16	95,07	±0,42	8,06	±0,1	94,07	±0,49	7,71	±0,11	93,86	±0,44
12	11,83	±0,17	96,48	±0,22	10,57	±0,13	97,23	±0,21	8,83	±0,09	97,08	±0,25	8,50	±0,1	96,77	±0,24
16	11,81	±0,15	96,58	±0,21	10,68	±0,14	97,39	±0,24	9,00	±0,08	97,37	±0,22	8,69	±0,09	97,12	±0,2
20	11,83	±0,13	96,58	±0,22	10,69	±0,15	97,40	±0,2	9,03	±0,08	97,38	±0,2	8,71	±0,09	97,14	±0,19
24	11,86	±0,13	96,58	±0,24	10,70	±0,15	97,40	±0,21	9,03	±0,08	97,37	±0,21	8,71	±0,09	97,14	±0,19
28	11,86	±0,13	96,58	±0,22	10,70	±0,15	97,40	±0,21	9,03	±0,08	97,38	±0,21	8,71	±0,09	97,14	±0,19
32	11,86	±0,13	96,58	±0,22	10,70	±0,15	97,40	±0,21	9,03	±0,08	97,38	±0,21	8,71	±0,09	97,14	±0,19
36	11,86	±0,13	96,58	±0,22	10,70	±0,15	97,40	±0,21	9,03	±0,08	97,38	±0,21	8,71	±0,09	97,14	±0,19
40	11,86	±0,13	96,58	±0,22	10,70	±0,15	97,40	±0,21	9,03	±0,08	97,38	±0,21	8,71	±0,09	97,14	±0,19
WD																
Tamanho Buffer (MB)	Bluetooth															
4	11,21	±0,27	45,71	±1,71	10,44	±0,38	42,08	±1,72	9,56	±0,28	42,25	±1,64	9,05	±0,28	42,35	±1,68
8	11,20	±0,28	57,01	±2,09	9,23	±0,18	50,43	±2,05	8,87	±0,22	50,84	±2,11	8,41	±0,19	50,87	±2,03
12	11,37	±0,33	59,22	±2,06	10,26	±0,24	53,22	±2,12	9,83	±0,24	53,59	±2,13	9,14	±0,23	53,38	±2,22
16	11,34	±0,32	59,79	±2,11	10,55	±0,28	53,90	±2,25	10,06	±0,28	54,32	±2,21	9,30	±0,26	53,91	±2,22
20	11,33	±0,34	59,91	±2,19	10,61	±0,29	54,24	±2,32	10,08	±0,28	54,56	±2,26	9,33	±0,26	54,10	±2,24
24	11,32	±0,34	59,92	±2,18	10,61	±0,29	54,32	±2,31	10,12	±0,29	54,55	±2,25	9,35	±0,27	54,13	±2,27
28	11,32	±0,33	59,94	±2,19	10,61	±0,3	54,38	±2,35	10,13	±0,29	54,53	±2,23	9,35	±0,27	54,14	±2,27
32	11,32	±0,33	59,94	±2,18	10,61	±0,3	54,39	±2,36	10,13	±0,29	54,54	±2,23	9,35	±0,27	54,15	±2,27
36	11,32	±0,33	59,94	±2,18	10,61	±0,3	54,39	±2,36	10,13	±0,29	54,54	±2,23	9,35	±0,27	54,15	±2,27
40	11,32	±0,33	59,94	±2,18	10,61	±0,3	54,39	±2,36	10,13	±0,29	54,54	±2,23	9,35	±0,27	54,15	±2,27
Tamanho Buffer (MB)	Wi-Fi															
4	21,42	±1,07	91,02	±0,64	22,34	±0,9	89,03	±1,01	16,54	±0,42	89,14	±0,94	15,95	±0,3	89,28	±0,87
8	20,58	±0,95	95,73	±0,51	17,03	±0,44	94,12	±0,62	14,60	±0,32	94,22	±0,65	14,20	±0,24	94,28	±0,66
12	19,89	±0,92	96,01	±0,48	18,79	±0,57	94,96	±0,54	15,45	±0,4	94,78	±0,55	14,93	±0,28	94,71	±0,56
16	19,87	±0,95	96,04	±0,48	19,05	±0,55	95,10	±0,52	15,55	±0,42	94,83	±0,61	14,99	±0,28	94,70	±0,55
20	19,87	±0,98	96,07	±0,46	19,09	±0,56	95,01	±0,56	15,56	±0,43	94,83	±0,61	14,98	±0,28	94,72	±0,55
24	19,87	±0,97	96,07	±0,45	19,10	±0,56	95,02	±0,56	15,56	±0,43	94,83	±0,61	14,98	±0,28	94,72	±0,55
28	19,87	±0,97	96,07	±0,45	19,10	±0,56	95,02	±0,56	15,56	±0,43	94,83	±0,61	14,98	±0,28	94,72	±0,55
32	19,87	±0,97	96,07	±0,45	19,10	±0,56	95,02	±0,56	15,56	±0,43	94,83	±0,61	14,98	±0,28	94,72	±0,55
36	19,87	±0,97	96,07	±0,45	19,10	±0,56	95,02	±0,56	15,56	±0,43	94,83	±0,61	14,98	±0,28	94,72	±0,55
40	19,87	±0,97	96,07	±0,45	19,10	±0,56	95,02	±0,56	15,56	±0,43	94,83	±0,61	14,98	±0,28	94,72	±0,55

Tabela A2: Variação do TTL das Mensagens.

Resultados Obtidos – Variação do TTL da Mensagem																
Cenários/Métricas	Gest				AlcM				DivR				DivC			
	Relação de Redundância		Taxa de Entrega		Relação de Redundância		Taxa de Entrega		Relação de Redundância		Taxa de Entrega		Relação de Redundância		Taxa de Entrega	
RWP																
TTL da Mensagem (minutos)	Bluetooth															
400	19,37	±0,8	8,81	±0,32	18,61	±0,78	9,12	±0,31	18,45	±0,78	9,06	±0,32	18,46	±0,78	9,06	±0,32
800	13,26	±0,35	14,70	±0,32	12,09	±0,36	15,36	±0,36	11,94	±0,35	15,24	±0,37	11,96	±0,36	15,26	±0,37
1200	11,17	±0,25	18,34	±0,41	10,07	±0,24	19,29	±0,46	9,85	±0,23	19,09	±0,45	9,90	±0,23	19,12	±0,45
1600	10,13	±0,21	20,95	±0,46	9,12	±0,21	22,12	±0,5	8,77	±0,2	21,85	±0,49	8,85	±0,2	21,92	±0,49
2000	9,53	±0,18	22,91	±0,44	8,50	±0,18	24,26	±0,45	8,03	±0,16	23,93	±0,46	8,15	±0,17	24,02	±0,47
2400	9,17	±0,16	24,31	±0,44	8,04	±0,16	25,75	±0,5	7,48	±0,13	25,43	±0,48	7,62	±0,14	25,52	±0,47
2800	8,92	±0,15	25,31	±0,44	7,64	±0,13	26,79	±0,47	7,05	±0,11	26,44	±0,47	7,18	±0,11	26,55	±0,51
3200	8,73	±0,15	26,04	±0,38	7,31	±0,11	27,50	±0,45	6,68	±0,09	27,20	±0,43	6,83	±0,09	27,30	±0,46
3600	8,59	±0,14	26,49	±0,41	7,00	±0,09	28,06	±0,45	6,52	±0,08	27,80	±0,47	6,52	±0,09	27,89	±0,49
TTL da Mensagem (minutos)	Wi-Fi															
400	11,54	±0,06	97,91	±0,11	8,78	±0,05	98,81	±0,11	5,42	±0,04	98,43	±0,13	5,98	±0,04	98,33	±0,24
800	10,83	±0,07	98,07	±0,08	8,85	±0,07	99,06	±0,09	5,68	±0,04	98,82	±0,11	5,73	±0,04	98,86	±0,09
1200	10,55	±0,08	98,05	±0,1	8,80	±0,07	99,06	±0,09	5,79	±0,05	98,88	±0,1	5,84	±0,04	98,87	±0,1
1600	10,40	±0,09	98,04	±0,09	8,74	±0,09	99,02	±0,1	5,85	±0,04	98,89	±0,1	5,90	±0,04	98,89	±0,11
2000	10,30	±0,11	98,02	±0,08	8,70	±0,09	99,01	±0,1	5,88	±0,05	98,90	±0,1	5,93	±0,04	98,89	±0,1
2400	10,26	±0,08	98,02	±0,11	8,67	±0,08	99,02	±0,09	5,90	±0,04	98,90	±0,1	5,95	±0,04	98,90	±0,1
2800	10,23	±0,09	98,02	±0,1	8,66	±0,09	99,00	±0,09	5,91	±0,04	98,91	±0,1	5,96	±0,04	98,90	±0,1
3200	10,13	±0,1	97,97	±0,13	8,65	±0,09	98,97	±0,09	5,91	±0,04	98,91	±0,1	5,96	±0,04	98,90	±0,1
3600	10,11	±0,07	98,00	±0,13	8,64	±0,09	98,98	±0,08	5,91	±0,04	98,91	±0,1	5,97	±0,04	98,91	±0,1
Poi																
TTL da Mensagem (minutos)	Bluetooth															
400	9,31	±0,12	72,52	±0,77	8,41	±0,13	71,43	±0,68	7,60	±0,09	70,48	±0,71	6,54	±0,09	67,47	±0,73
800	8,76	±0,09	88,95	±0,63	8,09	±0,1	88,86	±0,52	7,07	±0,07	88,21	±0,49	6,14	±0,07	86,86	±0,56
1200	8,32	±0,08	92,66	±0,37	7,82	±0,09	92,78	±0,39	6,99	±0,07	92,66	±0,34	6,14	±0,07	92,05	±0,43
1600	8,00	±0,09	93,82	±0,38	7,61	±0,07	93,91	±0,4	6,95	±0,07	94,04	±0,36	6,15	±0,07	93,72	±0,36
2000	7,79	±0,07	94,18	±0,37	7,44	±0,07	94,38	±0,41	6,92	±0,07	94,64	±0,34	6,14	±0,07	94,43	±0,39
2400	7,63	±0,07	94,38	±0,43	7,34	±0,06	94,53	±0,39	6,92	±0,08	94,87	±0,3	6,15	±0,08	94,68	±0,35
2800	7,53	±0,07	94,42	±0,38	7,25	±0,07	94,64	±0,36	6,90	±0,08	94,98	±0,37	6,15	±0,08	94,81	±0,36
3200	7,45	±0,06	94,43	±0,45	7,19	±0,07	94,66	±0,38	6,90	±0,07	95,02	±0,37	6,15	±0,07	94,91	±0,36
3600	7,41	±0,06	94,44	±0,42	7,17	±0,07	94,65	±0,42	6,89	±0,08	95,08	±0,36	6,15	±0,08	94,96	±0,34
TTL da Mensagem (minutos)	Wi-Fi															
400	12,61	±0,17	90,72	±0,55	11,16	±0,2	89,82	±0,51	8,70	±0,1	88,15	±0,61	8,21	±0,11	85,30	±0,68
800	12,84	±0,14	96,09	±0,23	11,44	±0,16	96,73	±0,26	8,89	±0,09	96,39	±0,27	8,47	±0,11	95,65	±0,27
1200	12,40	±0,13	96,69	±0,22	11,11	±0,17	97,30	±0,21	8,99	±0,08	97,25	±0,24	8,62	±0,1	96,87	±0,22
1600	12,02	±0,13	96,53	±0,22	10,86	±0,17	97,39	±0,24	9,01	±0,09	97,33	±0,24	8,67	±0,09	97,11	±0,2
2000	11,83	±0,13	96,58	±0,22	10,69	±0,15	97,40	±0,2	9,03	±0,08	97,38	±0,2	8,71	±0,09	97,14	±0,19
2400	11,73	±0,13	96,55	±0,21	10,60	±0,15	97,37	±0,21	9,04	±0,09	97,40	±0,22	8,73	±0,09	97,16	±0,18
2800	11,64	±0,12	96,50	±0,21	10,54	±0,16	97,36	±0,22	9,05	±0,09	97,39	±0,22	8,74	±0,09	97,16	±0,2
3200	11,54	±0,12	96,50	±0,22	10,50	±0,15	97,36	±0,25	9,04	±0,08	97,38	±0,2	8,74	±0,09	97,16	±0,2
3600	11,42	±0,13	96,55	±0,22	10,48	±0,16	97,35	±0,21	9,04	±0,08	97,36	±0,18	8,75	±0,09	97,16	±0,21
WD																
TTL da Mensagem (minutos)	Bluetooth															
400	19,52	±0,91	21,32	±1,41	16,88	±0,87	17,23	±1,19	16,17	±0,83	17,15	±1,16	16,10	±0,83	17,12	±1,17
800	14,87	±0,48	36,01	±1,86	13,27	±0,54	30,79	±1,71	12,62	±0,53	30,66	±1,69	12,32	±0,5	30,49	±1,68
1200	12,75	±0,37	47,25	±2,21	11,67	±0,38	41,54	±2,17	11,11	±0,33	41,45	±2,12	10,58	±0,33	41,13	±2,09
1600	11,82	±0,36	54,91	±2,16	10,99	±0,35	49,17	±2,24	10,46	±0,3	49,33	±2,32	9,74	±0,29	48,99	±2,28
2000	11,33	±0,34	59,91	±2,19	10,61	±0,29	54,24	±2,32	10,08	±0,28	54,56	±2,26	9,33	±0,26	54,10	±2,24
2400	10,97	±0,34	63,37	±2,11	10,29	±0,29	57,72	±2,09	9,80	±0,3	58,14	±2,14	9,03	±0,26	57,66	±2,09
2800	10,72	±0,33	65,83	±2,04	10,03	±0,28	60,28	±1,85	9,56	±0,29	60,80	±2,09	8,79	±0,25	60,56	±2,16
3200	10,57	±0,33	67,33	±1,87	9,88	±0,3	62,00	±1,98	9,39	±0,26	62,61	±2,14	8,66	±0,25	62,18	±2,18
3600	10,46	±0,33	68,14	±1,88	9,77	±0,28	62,92	±1,88	9,30	±0,28	63,53	±2,03	8,59	±0,25	63,19	±2,12
TTL da Mensagem (minutos)	Wi-Fi															
400	22,67	±1,04	79,39	±1,57	20,40	±0,58	73,12	±1,47	17,71	±0,45	71,29	±1,58	17,19	±0,38	71,05	±1,56
800	21,44	±1,11	91,74	±0,9	19,91	±0,67	88,53	±0,98	16,46	±0,43	87,57	±1,18	15,89	±0,29	87,35	±1,09
1200	20,68	±1,04	94,91	±0,53	19,63	±0,61	93,08	±0,7	15,91	±0,41	92,55	±0,77	15,40	±0,3	92,40	±0,79
1600	20,14	±1,04	95,78	±0,5	19,32	±0,65	94,53	±0,62	15,68	±0,43	94,24	±0,65	15,13	±0,29	94,09	±0,67
2000	19,87	±0,98	96,07	±0,46	19,09	±0,56	95,01	±0,56	15,56	±0,43	94,83	±0,61	14,98	±0,28	94,72	±0,55
2400	19,59	±0,91	96,09	±0,46	18,96	±0,64	95,28	±0,52	15,46	±0,39	95,05	±0,59	14,93	±0,25	95,00	±0,51
2800	19,41	±0,86	96,16	±0,42	18,76	±0,64	95,38	±0,46	15,39	±0,39	95,22	±0,49	14,83	±0,24	95,13	±0,57
3200	19,37	±0,84	96,19	±0,44	18,61	±0,62	95,40	±0,47	15,36	±0,4	95,23	±0,44	14,79	±0,26	95,24	±0,55
3600	19,27	±0,86	96,18	±0,41	18,53	±0,59	95,40	±0,52	15,34	±0,42	95,28	±0,51	14,76	±0,26	95,30	±0,52