

Módulo de Precificação Dinâmica em Sistema Multi-Agente de um Estacionamento Inteligente

Alexandre L. L. Mellado¹, Gleifer Vaz Alves¹, Paulo Leitão², André Pinz Borges¹

¹Departamento Acadêmico de Informática
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Ponta Grossa – PR – Brasil

²Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI)
Instituto Politécnico de Bragança (IPB)
Bragança – Portugal

mellado@alunos.utfpr.edu.br, gleifer@utfpr.edu.br

pleitao@ipb.pt, apborges@utfpr.edu.br

Abstract. *Insufficient investment in public services and infrastructure now causes a mobility problem in large urban centers, and technologies that use existing resources are needed to solve it. This paper proposes a dynamic pricing method that promotes the better allocation of parking spots and the mitigation of traffic congestion in cities. The module changes the prices of vacancies from combinations of characteristics of the environment. This work has the objective of evaluating its influence in a Multi-agent System created with the JaCaMo framework. The simulations show that the use of the pricing module increases the average occupancy, but the parking profit decreases.*

Resumo. *A insuficiência de investimentos em serviços públicos e infraestrutura causa agora um problema de mobilidade nos grandes centros urbanos e são necessárias tecnologias que usam dos recursos já existentes para resolvê-lo. Este trabalho propõe um método de precificação dinâmica com o objetivo de avaliar sua influência no funcionamento de um Sistema Multi-agente criado com o framework JaCaMo. O módulo altera os preços de vagas a partir de combinações de características do ambiente. As simulações mostram que o uso do módulo de precificação aumenta a ocupação média porém diminui lucro do estacionamento.*

1. Introdução

O problema de mobilidade no Brasil existe devido à falta de investimentos na infraestrutura e serviços públicos nos grandes centros urbanos [Monzoni 2014]. Estacionamentos são um destes serviços essenciais para uma mobilidade sustentável nesta área. A escassez de vagas, limitadas em grandes metrópoles, resulta no aumento do tempo de trânsito necessário para encontrar vagas disponíveis, causando desperdício de combustível, aumento do congestionamento e da poluição [Shoup 2006, Polycarpou et al. 2013]. Para combater estes problemas pode-se utilizar dos recursos já existentes nestas cidades.

Uma das formas de utilizar destes recursos envolve o paradigma de *Smart City* que propõe a integração de novas tecnologias de modo a resolver problemas do ambiente urbano. Nas áreas de trânsito e mobilidade, os Estacionamentos Inteligentes (EIs) utilizam

das tecnologias com o foco na automatização de tarefas diárias e melhor gerenciamento das funções do estacionamento [Di Nocera et al. 2014]. O preço das vagas influencia o funcionamento de um estacionamento e pode ser utilizado no controle de sua ocupação, podendo maximizar sua receita ao cobrar valores maiores durante períodos de grande demanda. Este dinamismo é vantajoso para motoristas ao reduzir o preço quando a procura por vagas está baixa [Tian et al. 2018].

O módulo de precificação e o Sistema Multi-Agente (SMA) [Wooldridge 2009] neste artigo serão usados como uma extensão do projeto MAPS (*Multi-Agent Parking System*), o qual busca a implementação de soluções para EIs. O módulo, especialmente, foi desenvolvido com objetivo de ser usado pelos sistemas existentes e futuros do projeto. Entre os trabalhos já desenvolvidos, [Castro et al. 2017] apresenta a implementação de um Sistema Multi-Agente para alocação de vagas baseado no grau de confiança dos agentes motoristas, este utilizado como base para o acoplamento do módulo desenvolvido; [Ducheiko et al. 2018], apresentou Sistema Multi-Agente, onde os agentes negociam por vagas seguindo um modelo aberto e descentralizado; [Botelho et al. 2019] propõem a implantação de um EI empregando agentes embarcados.

O objetivo do módulo proposto é determinar sua influência no funcionamento de um EI considerando variáveis do ambiente que se alteram ao decorrer do tempo: demanda de vagas, horário do dia e condição climática. O SMA foi implementado usando o *framework JaCaMo*¹ em função do seu uso em outros trabalhos do projeto MAPS e pela facilidade na implementação de um SMA. Almeja-se que utilizando tal módulo, seja possível identificar uma maior ocupação das vagas e(ou) ganho monetário em um EI. As contribuições neste trabalho são a implementação de um módulo de precificação e a inserção de negociação de preço e aplicação do módulo em um SMA.

Os resultados mostraram que, em geral, houve uma maior ocupação das vagas e menor lucro, mas indica que pode alcançar lucros maiores em cenários de maior demanda. O módulo também pode ter seu arquivo de configuração alterado e especificado a situação e objetivo do estacionamento. Além de otimizar o preenchimento das vagas, o funcionamento do módulo também mostrou a possibilidade de seu uso em controle de outros tipos de recursos que envolvam também precificação dinâmica.

Este artigo segue por apresentar outros trabalhos que retratam um método de precificação dinâmico. Na seção 3 é descrito o desenvolvimento do SMA e como o módulo é criado e utilizado. A seção 4 mostra os resultados obtidos em diferentes cenários de testes e por ultimo é realizado um conclusão sobre as informações encontradas.

2. Trabalhos Relacionados

Em [Cao et al. 2018], é apresentado um modelo de precificação dinâmico que considera os consumos simultâneos e singulares de recursos em nuvem, além do tempo de ocupação. O objetivo é reduzir o custo de uso mantendo o lucro do serviço. A sua implementação, usando uma Árvore B+ como método de controle dos dados, mostra ser capaz de calcular essa precificação ao consultar 10 milhões de dados em cerca de 0.2 segundos.

[Liao et al. 2021] propõem uma estratégia de precificação dinâmica em rede MEC auxiliada por veículos multi-usuário. O foco é minimizar o consumo de energia de equi-

¹<http://jacamo.sourceforge.net/>

pamentos de usuários (EUs) e maximizar a receita dos provedores. É usado um algoritmo de evolução diferencial para decidir o *offloading* dos EUs e de *Q-learning* para auxiliar na seleção do preço. Os resultados apresentam desempenho superior às estratégias de preços fixos e diferenciados, além de indicar maior eficiência no uso dos recursos.

[Tian et al. 2018] apresentam um modelo de precificação dinâmica usado para reservar vagas e maximizar o lucro do estacionamento. O preço é alterado usando a demanda e quantidade de vagas. A frequência de requisição segue um processo de Poisson e o preço variável altera a intensidade de novos veículos. A alteração dinâmica dos preços mostrou um melhor uso das vagas durante alta demanda e aumento da receita.

Em [Li et al. 2019], é proposto um modelo de precificação dinâmica baseado em custo nivelado e demanda de aquecimento por hora. O custo do combustível foi associado aos custos da produção de calor usando três métodos: quantidade e energia de aquecimento, eletricidade gerada e dedução do preço de eletricidade. Os resultados do modelo refletiram corretamente o custo da produção de calor.

[Said et al. 2021] apresentam uma proposta de estacionamento inteligente sustentável. A alocação de vagas do sistema, baseado em Internet das Coisas, foi modelada usando o modelo matemático da teoria dos jogos. O sistema desenvolvido considera o preço, tempo de estadia e distância da vaga até o destino em seu processo de alocação. Os resultados apresentados indicam redução no tempo de procura, incentivo financeiro à indivíduos e proprietários e maior sustentabilidade do estacionamento.

Estes trabalhos apresentam o paradigma de precificação dinâmica na solução de suas propostas. A demanda por um recurso é o fator que prevalece em todos os casos, seguido por outras características relevantes. Por fim é apresentado um trabalho recente que mostra a utilidade de um EI recente. Neste artigo é proposto um método de precificação dinâmico modular com distinção de observar a demanda, horário e condição climática de forma configurável e implantável em virtualmente qualquer tipo de EI.

3. Desenvolvimento

O módulo de precificação é capaz de observar combinações de características do ambiente e alterar dinamicamente o preço das vagas de um EI. Um agente decide de forma autônoma quando ativar o módulo que identifica a circunstância atual do ambiente e checa um arquivo de configuração contendo regras de como o preço deve ser modificado.

3.1. Sistema Multi-Agente

Na Figura 1 é apresentado o diagrama do EI onde é implantado o módulo de precificação. Neste SMA centralizado, o agente *manager* controla a entrada, alocação de vagas e pagamentos de *drivers* interessados em estacionar. Os *drivers* estão encarregados de aceitar ou não o preço das vagas e decidir quando usarão o estacionamento. A negociação do preço é feita comparando os créditos disponíveis ao *driver* e o valor das vagas indicado pelo *manager*. O *driver* recusa a vagas caso o preço seja maior que o seu total disponível.

3.1.1. Agente Manager

Para realizar a recepção, alocação e remoção de agentes *drivers* o *manager* utiliza planos que realizam cada etapa do processo de organização das vagas. Os planos do *manager*

envolvem: A consulta do preço atual para entregar a um *driver*; O processamento de uma requisição por vaga realizada após um *driver* aceitar o preço; A alocação do *driver* caso exista disponibilidade de vaga; A inserção do *driver* em uma lista de espera, caso nenhuma vaga esteja live; A liberação da vaga quando o *driver* decidir sair do estacionamento e a decisão de quando alterar o preço das vagas por modo interno ou externo.

3.1.2. Agentes Driver

Os planos dos agentes *driver* determinam como o motorista a procura de uma vaga irá utilizar o estacionamento. Neles estão contidos os planos de chegar ao estacionamento; Solicitar o preço atual das vagas; Identificar se o preço é aceitável de acordo com seus créditos disponíveis; Requisitar uma vaga; Estacionar e sair da vaga quando desejar.

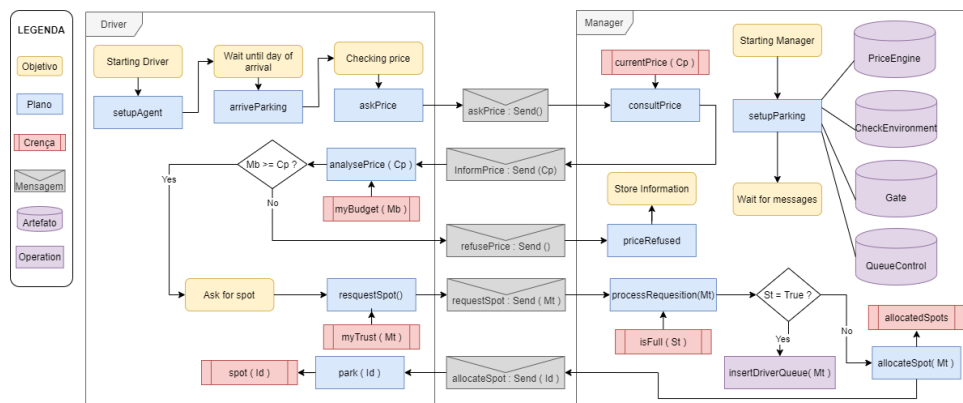


Figura 1. Modelagem do SMA de um Estacionamento Inteligente

3.2. Módulo de Precificação Dinâmica

Na Figura 2, é ilustrado a modelagem do SMA interagindo com o módulo de precificação. O preço pode ser alterado de modo externo (observando as características do ambiente) ou de modo interno (utilizando planos do agente). O módulo é encarregado de retornar o novo preço das vagas, quando requisitado pelo agente *manager*, usando as regras encontradas no arquivo de configuração (ver Subseção 3.2.1).

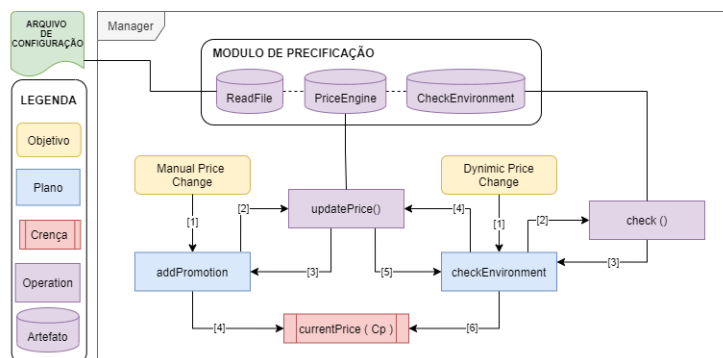


Figura 2. Diagrama de utilização do módulo de precificação.

A mudança por modo interno na esquerda começa por [1] acionar o plano *addPromotion* que possui a *String* da regra de promoção. [2] A regra é enviada para a operação de atualização que usa os dados do arquivo de configuração para [3] retornar o novo valor ao plano do agente que [4] modifica a crença do preço atual do sistema.

A alteração de modo externo na direita inicia com o *manager* decidindo [1] checar o ambiente. O plano [2] aciona a operação que observa o ambiente, formula e [3] retorna as regras correspondentes a situação atual. As regras são [4] usadas no artefato de alteração do preço, o qual [5] devolve o novo valor a ser usado na [6] crença do sistema.

3.2.1. Arquivo de Configuração

O arquivo de configuração é parte integral do módulo de precificação dinâmica. A configuração em cada arquivo é definida em duas tabelas que determinam as regras utilizadas durante a mudança dos preços das vagas. A primeira tabela é de legenda e contém o ID, a *String* e os intervalos de cada tipo de regra. Três tipos categorias de regras são aceitas nesta legenda: regras de demanda do estacionamento, horário do dia e condição atmosférica, definidas com os IDs 1 à 3 respectivamente. Destaca-se que é possível expandir o módulo de precificação com a adição de novas regras de acordo com necessidades específicas. A segunda tabela contém as categorias, suas condições e as porcentagens de mudança do preço para cada condição. O arquivo de configuração finalizado entra em funcionamento no sistema ao ser usado pelo artefato leitor do módulo de precificação. Nas operações deste artefato, as tabelas do arquivo são separadas em matrizes para serem usados nos outros artefatos do módulo. Na figura 3, é apresentado o conteúdo e nome das quatro matrizes criadas além de um exemplo de um arquivo de configuração.

3.2.2. Observador do Ambiente

O artefato em questão verifica a situação do ambiente e utiliza as matrizes criadas pelo artefato leitor de modo a retornar as regras adequadas para a situação atual. Usando a matriz contendo a tabela de legenda, as operações identificam quais características do ambiente serão observadas. Essas características, que podem envolver a demanda do estacionamento, a condição climática atual que é determinada pseudo-aleatoriamente com intuito de simulação e o horário do dia no estacionamento, são usadas para encontrar o valor correto no intervalo e identificar a condição atual de cada categoria.

3.2.3. Exemplo de Alteração do Preço

A regra retornada do artefato de checagem é usada para alterar o preço das vagas. Usando como exemplo a regra encontrada na figura 3, o novo valor das vagas é encontrado da seguinte maneira: *Demanda:Alta* aumenta o preço em 30%; *CondClima:Nublado* não altera o valor; e *HoraDia:Noite* reduz o preço em 10%. Supondo um preço base de 5 créditos, o novo preço é encontrado usando a equação $pb + \sum_{i=1}^n P_i * pb$, sendo pb o preço base, P o conjunto de porcentagens de mudanças e n o número de porcentagens. Neste caso: $(5 + (0,3 * 5) + (0 * 5) + (-0,1 * 5))$ que resulta em 6 créditos.

CabecalhoLegenda	ID	String	Intervalos	
DadosLegenda	1	Demanda	0-0.3-0.6-1	
	2	CondClima	0-1-2-3	
	3	HoraDia	0-6-12-15-19-24	

CabecalhoRegras	Categoria	Condicao	Valor	Ambiente
DadosRegras	HoraDia	Madrugada	-0.2	
	HoraDia	Manha	0	
	HoraDia	MeioDia	0.1	
	HoraDia	Tarde	0	
	HoraDia	Noite	-0.1	
	Evento	Promocao	-0.5	
	Demanda	Baixa	-0.2	
	Demanda	Normal	0	
	Demanda	Alta	0.3	
	CondClima	Sol	0.1	
	CondClima	Nublado	0	
	CondClima	Chuva	-0.05	
	CondClima	Tempestade	-0.1	

Figura 3. Exemplos de um arquivo de configuração e de verificação do ambiente.

4. Resultados

Os resultados foram obtidos após simulações do EI em cenários distintos com e sem a utilização do módulo de precificação. Foram desenvolvidos 20 cenários diferenciados pelo uso módulo e características do estacionamento. Na Tabela 4 é apresentada as ocupações médias e os créditos obtidos em cada simulação.

4.1. Cenários de Teste

Os cenários de teste foram definidos por combinações de número máximo de vagas disponíveis, quantidade de *drivers* criados, preço base das vagas, crédito máximo de cada *driver* e a escolha do arquivo de configuração. Considerou-se três configurações e testes sem a utilização do módulo de precificação. As configurações usadas nos cenários são ilustradas nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Conf. 1

ID	String	Intervalos
1	Dmd	0-0.2-0.4-0.6-0.8-1
4	Categoria	Condição
5	Dmd	MuitoBaixa
6	Dmd	Baixa
7	Dmd	Normal
8	Dmd	Alta
9	Dmd	MuitoAlta

Tabela 2. Conf. 2

ID	String	Intervalos
1	Demanda	0-0.3-0.8-1
3	Temporal	0-1-2-3
5	Categoria	Condição
6	Temporal	Sol
7	Temporal	Nublado
8	Temporal	Chuva
9	Temporal	Tempestade
10	Demanda	Baixa
11	Demanda	Normal
12	Demanda	Alta

Tabela 3. Conf. 3

ID	String	Intervalos
1	Demanda	0-0.3-0.6-1
2	CondClima	0-1-2-3
3	HoraDia	0-6-12-15-19-24
6	Categoria	Condição
7	HoraDia	Madrugada
8	HoraDia	Manha
9	HoraDia	MeioDia
10	HoraDia	Tarde
11	HoraDia	Noite
12	Evento	Promocao
13	Demanda	Baixa
14	Demanda	Normal
15	Demanda	Alta
16	CondClima	Sol
17	CondClima	Nublado
18	CondClima	Chuva
19	CondClima	Tempestade

Para cada configuração, foram executados sistemas com 100 e 200 vagas disponíveis e em cada um desses foi simulado três conjuntos de número de *drivers*, preço base e crédito máximo. No total foram realizadas 24 simulações e seus resultados podem ser vistos na tabela 4. A quantidade de *drivers* mudam para cada conjunto, porém o seu funcionamento é o mesmo em todos. Cada *driver* possui tempos de espera até chegar no estacionamento e de uso da vaga. Esse tempo é escolhido aleatoriamente no intervalo de 0 até 7 dias até chegar e de 1 hora até 2 dias de uso. Após sair da vaga, os *drivers* esperam 1 dia até escolher o próximo dia de uso. Os valores desses intervalos foram escolhidos com o intuito de simular uma permanência variada dos veículos no estacionamento.

4.2. Resultados Obtidos

Os resultados de cada execução dos cenários são usados para avaliar como a inclusão de preço dinâmico impacta a ocupação do estacionamento, comparado com um sistema sem uso do módulo de precificação. Além disso, foi verificado se o total de créditos recebidos permanece equivalente ou piora entre os cenários. Cada simulação resulta em um *log* de eventos que contém todas as operações do sistema durante sua execução, informações que são usadas na criação dos gráficos da figura 4.

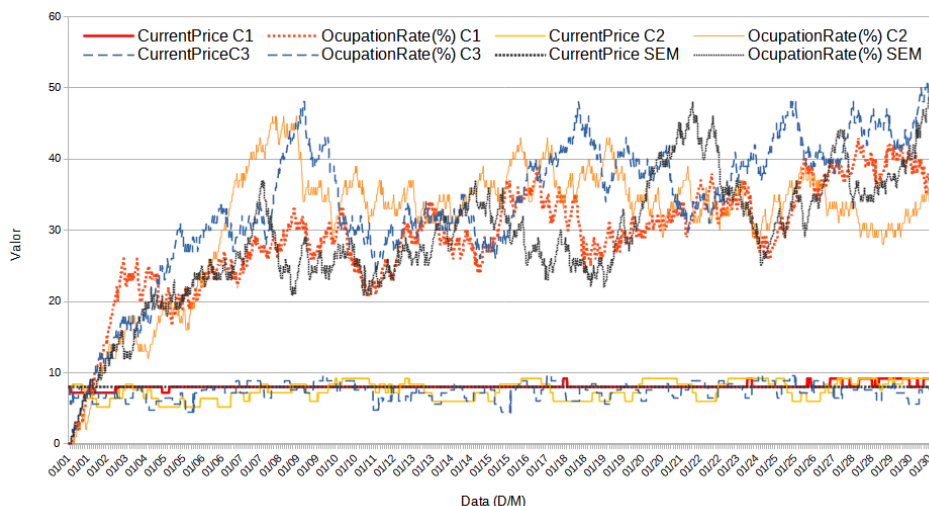


Figura 4. Gráficos para 100 vagas, 100 drivers em conf. 1, 2, 3 e sem módulo

A figura 4 mostra as taxas de ocupação e preços das vagas do estacionamento ao decorrer de um mês de simulação. O eixo *y* representa os valores em porcentagem para os dados de ocupação e valor inteiro em créditos para o preço das vagas. Os gráficos demonstram o efeito entre o uso de diferentes arquivos de configuração. Por exemplo, enquanto o valor das vagas manteve-se inalterado grande parte do mês com a configuração 1, o preço mudou constantemente nas outras duas configurações. Isso deve-se ao primeiro caso considerar apenas a demanda do estacionamento e a mesma permanecer baixa durante 2/3 do mês. Nas outras configurações, as regras de horário do dia e/ou a condição climática alteram o preço sem mudança na demanda.

Resultados (Tabela 4) mostram que os cenários sem a utilização do módulo de precificação gerou em média 6% a mais de créditos recebidos que os cenários com módulo. Em ocasiões específicas, o módulo alcança total maior de créditos recebidos (cenários de configuração 1 e 2), respectivamente com 100 e 200 vagas em conjunto grande. Estes cenários possuem totais de créditos respectivamente 2,77% e 1,32% maior que o equivalente sem módulo. As ocupações médias são, em geral, superiores nos cenários que utilizam um arquivo de configuração (em média, 2,03%) e em especial da configuração 2 que possuem ocupações 12% maiores que as do sem módulo.

O ganho total de créditos inferior devido ao uso do módulo provavelmente ocorreu dada a baixa demanda base no estacionamento durante toda a simulação. Nos resultados, é apresentado que nos cenários onde a ocupação média passou para o próximo intervalo de demanda o valor dos créditos recebidos esteve mais próximo ou maior dos sem módulo.

Tabela 4. Resultados

Conjunto	# de Drivers	Preço Base	Crédito Máximo
Pequeno	50	5	10
Médio	100	8	15
Grande	200	10	20

Módulo	# de Vagas	Conjunto	Crédito Recebido	Ocupação Média
Sem módulo	100 vagas	Pequeno	1115	15,4878%
		Médio	3304	28,9185%
		Grande	7350	56,0004%
	200 vagas	Pequeno	1090	9,8522%
		Médio	3400	14,7713%
		Grande	7140	28,2909%
Configuração 1	100 vagas	Pequeno	1045	15,4792%
		Médio	3191,2	29,9857%
		Grande	7553,5	55,9820%
	200 vagas	Pequeno	931,5	11,2742%
		Médio	2944	15,8006%
		Grande	7090	25,2108%
Configuração 2	100 vagas	Pequeno	910,5	18,5097%
		Médio	3065,2	31,9769%
		Grande	7239,5	66,0483%
	200 vagas	Pequeno	965	10,2643%
		Médio	2910,8	17,7804%
		Grande	7234,5	28,3341%
Configuração 3	100 vagas	Pequeno	899,25	18,6506%
		Médio	3193,6	35,3119%
		Grande	7270,5	57,3165%
	200 vagas	Pequeno	845,5	8,8200%
		Médio	2265,2	18,0399%
		Grande	6585	33,5725%

Logo, mudanças nos descontos e intervalos considerados nas mudanças de preço por demanda podem resolver a diferença de lucro final entre os cenários, mantendo a melhoria na taxa de ocupação. Considerando casos de uso, a configuração 1 mostra-se mais balanceada e melhor utilizada em estacionamentos com histórico de demandas mais elevadas ou aqueles sem método de troca de preço dinâmico. A configuração 2 reduz seus ganhos de créditos e aumenta a probabilidade de maior ocupação e é melhor utilizada em atrair clientes para o local do estacionamento ocupando o máximo das vagas em longos períodos. A configuração 3 é uma versão mais extrema da 2 ao possuir preços de vagas constantemente menores e também servir para alcançar taxas altas de ocupação.

5. Conclusão

Estacionamentos são um recurso importante para grandes cidades na resolução do problema de mobilidade. Novas tecnologias e soluções nesta área, como os EI, refletem a busca por um melhor ambiente urbano. O módulo de precificação dinâmico proposto neste trabalho mostra que é possível aumentar a ocupação de um estacionamento e manter um valor menor, mas semelhante de créditos recebidos. Com mudanças nos valores de desconto no arquivo de configuração, pode ser possível manter o ganho de ocupação e receber maior número de créditos. Além disso, o arquivo de configuração do módulo pode ser usado em outras áreas fora do preço de vagas de estacionamento com a troca do recurso a ser alterado e com leves mudanças na implantação do módulo.

Em próximos trabalhos devem ser realizados testes onde os valores de preço base e crédito máximo não são ligados ao número de agentes *drivers* e cenários em que o número de vagas e *drivers* são imensamente maiores que um do outro. Igualmente, pretende-se desenvolver um método de estimação dos valores de precificação, aprendendo com dados adquiridos em execuções passadas do sistema.

Referências

- Botelho, P. W., Borges, A. P., and Alves, G. V. (2019). Proposta de implantação de um sistema ciber-físico para um smart parking baseado em agentes inteligentes.
- Cao, B., Wang, K., Xu, J., Hou, C., Fan, J., and Que, H. (2018). Dynamic pricing for resource consumption in cloud service. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018.
- Castro, L. F. S. D., Alves, G. V., and Borges, A. P. (2017). Using trust degree for agents in order to assign spots in a Smart Parking. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, 6(2):45–55.
- Di Nocera, D., Di Napoli, C., and Rossi, S. (2014). A social-aware smart parking application. In *WOA*.
- Ducheiko, F. F., André, P. B., and Gleifer, V. A. (2018). Implementação de Modelo de Raciocínio e Protocolo de Negociação para um Estacionamento Inteligente com Mecanismo de Negociação Descentralizado. *Revista Junior de Iniciação Científica em Ciências Exatas e Engenharia*, 1(19):25–32.
- Li, H., Song, J., Sun, Q., Wallin, F., and Zhang, Q. (2019). A dynamic price model based on levelized cost for district heating. *Energy, Ecology and Environment*, 4(1):15–25.
- Liao, Y., Qiao, X., Yu, Q., and Liu, Q. (2021). Intelligent dynamic service pricing strategy for multi-user vehicle-aided mec networks. *Future Generation Computer Systems*, 114:15–22.
- Monzoni, Mario. Nicolletti, M. (2014). A cidade para os cidadãos: mobilidade, energia e agricultura urbana. In *Cadernos FGV Projetos – Cidades Inteligentes e Mobilidade Urbana. n.24*, pages 90–107.
- Polycarpou, E., Lambrinos, L., and Protopapadakis, E. (2013). Smart parking solutions for urban areas. In *2013 IEEE 14th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM)*, pages 1–6. IEEE.
- Said, A. M., Kamal, A. E., and Afifi, H. (2021). An intelligent parking sharing system for green and smart cities based iot. *Computer Communications*, 172:10–18.
- Shoup, D. C. (2006). Cruising for parking. *Transport Policy*, 13(6):479–486.
- Tian, Q., Yang, L., Wang, C., and Huang, H.-J. (2018). Dynamic pricing for reservation-based parking system: A revenue management method. *Transport Policy*, 71:36–44.
- Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons.