

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL  
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DIRETORIA DE ENSINO  
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR  
“Coronel Osmar Alves Pinheiro”  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**

Cadete BM/2 MURILO VIEIRA **BALDUÍNO** ANDRADE



**USO DE RETARDANTES EM BOMBAS COSTAIS: ESTUDO E  
AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE MISTURA ÁGUA-CARBONATOS  
NO COMBATE A INCÊNDIO FLORESTAL**

BRASÍLIA  
2023

Cadete BM/2 MURILO VIEIRA **BALDUÍNO** ANDRADE

**USO DE RETARDANTES EM BOMBAS COSTAIS: ESTUDO E  
AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE MISTURA ÁGUA-CARBONATOS  
NO COMBATE A INCÊNDIO FLORESTAL**

Relatório de pesquisa apresentado como produto final do trabalho de conclusão de curso do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Orientador: Maj QOBM/Comb.**BRUNO MARCELINO** DE ALMEIDA NUNES

BRASÍLIA  
2023

## RESUMO

Este relatório apresenta as etapas científicas relevantes do trabalho de pesquisa feito acerca do uso de bicarbonato de sódio e carbonato de cálcio como aditivos químicos na água para aumentar sua capacidade combativa quando usada como agente extintor de incêndios. Duas etapas científicas foram realizadas. A primeira, visando constatar a teoria básica de fortalecimento de capacidade calorífica da água via ebulioscopia com os carbonatos mencionados anteriormente. A segunda, uma simulação de combate, tanto direto quanto indireto, em combustíveis representativos da fauna do cerrado, focado na análise paralela do uso da água simples e sua mistura com os carbonatos. Tais experimentos foram realizados buscando um aditivo químico que possa ser usado no combate ao incêndio florestal, tarefa complexa devido às questões ambientais inerentes deste campo de pesquisa.

Palavras-chave: Retardantes químicos, bicarbonato de sódio, água pura, incêndio florestal, bomba costal.

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste relatório é demonstrar como, através de pesquisa científica, foi encontrado um retardante químico que possivelmente poderá ser usado para fortalecer o poder combativo da água nos incêndios florestais.

Já são conhecidos retardantes em diversas áreas do combate à incêndio, desde a prevenção, com tais substâncias embutidas nas estruturas de material inflamável como móveis e eletrodomésticos, até o combate em si, como as substâncias geradoras de espuma. Neste tópico, o combate ao incêndio florestal caminha mais cautelosamente, devido às nuances do uso de químicos no meio ambiente.

Sendo assim, esta pesquisa procurou avaliar a eficiência do bicarbonato de sódio como retardante químico. Sua capacidade extintora já é comprovada, por ser o principal componente de extintores tipo B. Sendo assim, elaborou-se uma teoria de que, através de propriedades ebuloscópicas e a degradação térmica que desfavorece cineticamente a reação em cadeia do fogo, sua presença no ambiente em combustão auxilia na extinção do incêndio. Além disso, suas propriedades toxicológicas são inexistentes, isto é, não possui nenhuma contraindicação do seu uso no meio ambiente. Nota-se que, apesar disto, tal uso ainda não é regulamentado, sendo uma etapa normativa que ainda será realizada visto os resultados positivos obtidos.

O combate ao incêndio florestal é um campo de alcance mundial; este relatório visa prover um norte para que as outras corporações e demais entidades dedicadas a este assunto possam realizar uma compreensão técnica do que foi feito e dos promissores resultados apresentados. Tal instrumento, se corretamente viabilizado, pode tornar-se mais uma poderosa ferramenta de proteção do meio ambiente e, potencialmente, patrimônio e vidas.

## 2. METODOLOGIA, MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Etapa laboratorial

Nesta etapa, será descrita a etapa laboratorial que comprovou o aumento da capacidade calorífica da água quando misturada aos carbonatos sugeridos.

Para a pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais:

- Um béquer de 100ml;
- Uma placa de aquecimento com agitação magnética;
- Uma balança de precisão;
- Dois litros de água destilada;
- Uma placa ou prato para pesagem;
- Uma espátula de metal;
- Um saco de dois quilogramas de bicarbonato de sódio;
- Um saco de dois quilogramas de carbonato de cálcio;
- Um cronômetro;
- Termopares de contato.

O parâmetro escolhido para esta etapa científica foi o tempo. Idealmente, seria usado um calorímetro para controle mais preciso da quantidade de energia absorvida dos líquidos estudados, mas como o objetivo é a comparação entre a água pura e sua mistura com os carbonatos, o tempo foi de uso prático e simples como diferenciador de capacidade calorífica.

Primeiramente, foi colocado no béquer de 100ml esta quantidade de água destilada. Então, o béquer foi posicionado na placa de aquecimento e nele foi posto o termopar. A fim de estabelecer um claro marco temporal, começou-se a marcar o tempo de ebulição a partir do surgimento da primeira bolha de ar que subiu do fundo do líquido. Deste momento em diante, foram anotados os tempos de redução volumétrica correspondentes a cada dez por cento (10%) do volume inicial, até atingir a perda de 60% de tal volume. Ou seja, foram cronometrados os tempos desde o surgimento da primeira bolha de ar proveniente da ebulição até 10%, 20%,

30%, 40%, 50% e 60% de volume perdido ao processo físico da evaporação por aquecimento.

Feita esta etapa com a água, que serviu como principal comparativo, o mesmo foi feito com diversas concentrações de bicarbonato de sódio. Visto que seu limite de solubilidade em água está por volta de 10%, optou-se por realizar as mesmas etapas de anotação do tempo de redução volumétrica com concentrações variadas. Isto a fim de averiguar se a mudança de concentração acarretaria em grande variância dos resultados obtidos. As concentrações escolhidas foram de 2g, 4g, 6g e 8g de bicarbonato de sódio diluídos em 100ml de água destilada. Todas estas amostras foram cuidadosamente pesadas e misturadas, usando-se o mesmo béquer que foi usado com a água para minimizar a interferência instrumental, e foi aplicado o mesmo parâmetro para iniciar o cronômetro.

Em seguida, todo o procedimento de cronometragem de perda volumétrica foi feito com o carbonato de cálcio. Neste, não houve réplicas de concentração, pois a solubilidade deste sal é muito baixa. Teve então só uma réplica, com 1.5g diluídos em 100ml de água.

Por fim, uniram-se os dois carbonatos, procurando simular a mistura inicial proposta. Visto que, ao longo do experimento, a mudança de concentração de bicarbonato não mostrou-se muito relevante ao resultado, foi escolhida a concentração máxima testada, 8g, com 1g de carbonato de cálcio. Totalizou-se, então, sete réplicas de cronometragem de redução volumétrica realizadas no laboratório.

## **2.2. Projeto Osiris**

Nesta fase de pesquisa, foi estudado, através de comparação simultânea e paralela, o poder combativo da água simples e a água misturada à bicarbonato de sódio.

O Projeto Osiris foi o instrumento usado para realizar tal estudo. Este instrumento consiste em uma estrutura de metal, de aproximadamente dois metros, que comporta duas “caixas” de metal com laterais removíveis e que revestem

plataformas isoladas termicamente e colocadas sobre manômetros elétricos. Estes realizam a pesagem do material combustível posto sobre as plataformas continuamente, realizando, então, uma termogravimetria. Além disso, a estrutura comporta uma câmera térmica e estação meteorológica, para avaliar a queima visualmente e providenciar as condições de tempo no momento do experimento.

**Imagem 1 - Projeto Osiris**



**Fonte: o Autor**

O material combustível escolhido para representar a fauna típica do cerrado foi o capim-gordura (*Melinis minutiflora*). Uma semana antes da data da queima foram separadas doze caixas contendo aproximadamente um quilo e meio da espécie, e estas amostras foram deixadas ao sol para reduzir o seu volume d'água durante esta semana. Para as réplicas, este material foi posto uniformemente em cima das placas e pesado novamente para estabelecer o ponto inicial da termogravimetria.

**Imagem 2 - Capim-gordura preparado para a réplica**



**Fonte: o Autor**

Para simular o instrumento de combate, foi escolhido um modelo de pulverizador usado em jardinagem, o Guarany 0442.

**Imagem 3 - Pulverizador**



**Fonte: <https://www.clavoura.com.br/guarany-pulverizador-de-comp-previa-1-25-lt/p>**

Dois destes foram utilizados. Em um, era colocado o volume de 500ml de água simples, de torneira, como é usado no combate ao incêndio. No outro, a estes



500ml eram acrescidos 45g de bicarbonato de sódio, resultando em uma concentração de 9% do soluto.

Estas montagens instrumentais referentes ao combustível e agente extintor foram usadas em todas as réplicas.

Foi decidido que seriam seis réplicas no total, cada uma com queimas paralelas ocorrendo e onde seriam usados os agentes extintores mencionados. Porém, para oferecer uma maior dinâmica ao estudo, as seis réplicas foram divididas em três pares, como a primeira réplica de cada par sendo uma simulação de linha fria, pois é uma forma já feita de combate indireto usando tanto água quanto retardantes químicos, e outra sendo combate direto. Além disso, como havia dois combatentes presentes para realizar as simulações, foi decidido também que trocaria entre pares qual agente extintor que cada um usaria, de forma que o que usasse somente água no primeiro par de réplicas trocasse para a mistura com bicarbonato no segundo par de réplica. Por fim, no último par de réplicas, trocou-se também os lados da estrutura do Projeto Osiris onde era aplicado o agente extintor.

Tudo isso foi feito para tentar minimizar quaisquer vicissitudes no processo experimental. Visto que havia diversos fatores interferentes, sendo os maiores o vento e os combatentes, houve uma variância de condições que buscaram simular a queima paralela em todas as condições disponíveis.

**Tabela 1 - Distribuição das queimas**

<b>Réplica e método</b>	<b>Massa de combustível para água (g)</b>	<b>Massa de combustível para bicarbonato (g)</b>	<b>Tempo total de queima (min)</b>
Réplica 1 - Linha fria	1297	1148	34
Réplica 1 - Combate direto	1484	1247	14
Réplica 2 - Linha fria	1239	962	26
Réplica 2 - Combate direto	1343	1250	16
Réplica 3 - Linha fria	1114	1267	22
Réplica 3 - Combate direto	1336	1408	16

**Fonte: o Autor**

Para as simulações de linha fria, foi colocado um pavio embebido em uma mistura de gasolina e álcool no início da placa, e este era coberto com uma parte do capim. Em aproximadamente 25 cm abaixo deste pavio com combustível, foi aplicado todo o volume presente dentro dos pulverizadores em uma faixa horizontal, de forma mais uniforme possível, procurando proteger o restante do material combustível. Em seguida, foi aceso o pavio, e observou-se o comportamento da queima.

Para os simulados de combate direto, repetia-se o processo de colocação de pavio, mas os bombeiros com os pulverizadores a pronto aguardaram o fogo chegar a aproximadamente 30% do combustível e então, combateram. Todo o volume dentro dos pulverizadores foi usado, mesmo que para rescaldo ou isolamento de ilhas de brasas dentro do material.

Feito a escolha dos parâmetros e estabelecido o cronograma de réplicas, estas foram realizadas. Os dados foram computados pelo computador acoplado aos manômetros e à câmera térmica.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção será dividida em três etapas, iniciando pela laboratorial. Em seguida, a simulação de combate e por fim, a discussão experimental.

#### 3.1. Etapa laboratorial

A pesquisa laboratorial foi realizada com objetivo de comparar parâmetros físico-químicos da água e da mistura água-carbonato.

O primeiro parâmetro escolhido foi o de temperatura máxima. As propriedades coligativas (ebulioscopia) causariam, em teoria, um aumento do ponto de ebulição da água, aumentando o calor necessário para sua evaporação.

**Tabela 2 – Temperatura máxima atingida**

Concentração em 100ml	Temp. máxima (°C)
Água	95.3
2g NaHCO <sub>3</sub>	95.9
4g NaHCO <sub>3</sub>	95.8
6g NaHCO <sub>3</sub>	96.5
8g NaHCO <sub>3</sub>	96.8
1,5g CaCO <sub>3</sub>	97.1
Mistura final	97.8

**Fonte: O autor.**

A maior temperatura atingida foi a da mistura, de 97.8°C.

Comparado à água, que atingiu 95.3°C, nota-se o aumento ebulioscópico. Esta diferença, por mais baixa que seja (2.5°C) é significativa quando se leva em conta que toda a massa aplicada de água precisará de mais energia para evaporar. Além de demorar para atingir a temperatura de calor latente, precisará de mais

energia para manter-se neste patamar, contribuindo para a sua absorção térmica e, portanto, para o combate.

O parâmetro seguinte foi o tempo de evaporação. Como dito acima, o aumento de temperatura e de calor absorvido pelos carbonatos irão provocar mais resistência térmica da água. Isto se deu evidente no tempo necessário para a evaporação do volume das amostras, estas em concentrações crescentes de bicarbonato de sódio.

**Tabela 3 – Perda volumétrica x Tempo - bicarbonato de sódio em água**

Concentração em 100ml	Perda de 10%	Perda de 20%	Perda de 30%	Perda de 40%	Perda de 50%	Perda de 60%
Água	08:44	12:45	17:29	22:48	26:20	30:11
2g	14:30	26:12	32:00	40:52	47:42	55:19
4g	16:17	25:00	32:44	38:50	46:19	53:10
6g	12:39	24:25	29:18	38:50	45:28	53:10
8g	14:34	23:09	33:20	37:21	46:17	52:53

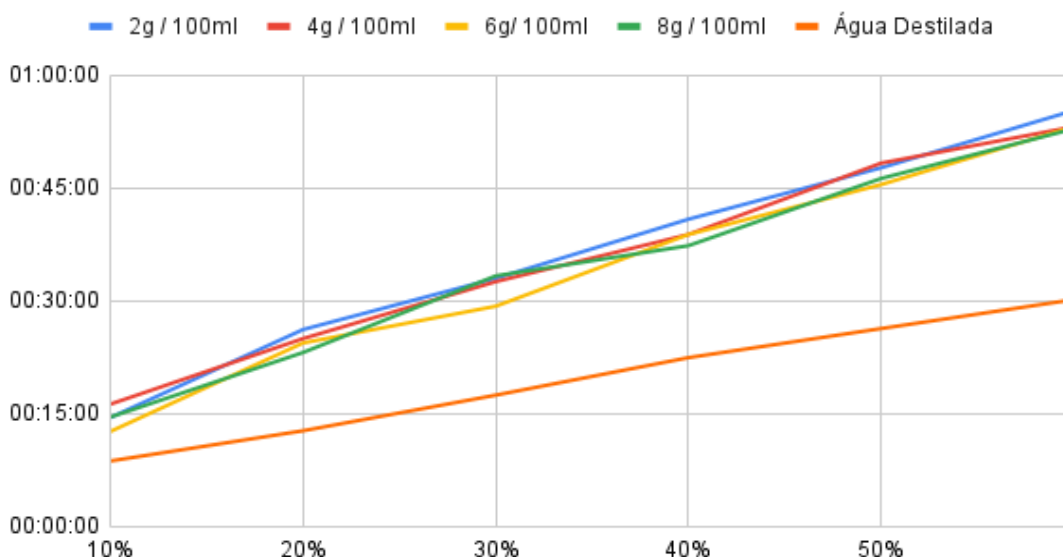
**Fonte: O autor.**

Os valores de perda volumétrica do bicarbonato foram similares. As propriedades coligativas causadas pela adição de bicarbonato são quantificáveis, mas não diferiram muito com o aumento do sal, visto que é uma propriedade cinética da evaporação. O ideal é, portanto, usar o máximo de bicarbonato possível sem causar condensação da parte sólida, pois esta pode apresentar problemas instrumentais nas bombas. Isto porque o bicarbonato irá, também, absorver calor após a evaporação da água no combate e agirá por abafamento produzindo dióxido de carbono.

O tempo de perda de 60% do volume da água foi de trinta minutos e onze segundos, ao passo que a perda de volume das amostras com bicarbonato se deu, em média, em cinquenta e três minutos e onze segundos. A diferença entre as amostras é, portanto, de vinte e três minutos.

**Gráfico 1 - Amostras de bicarbonato de sódio e água destilada (100ml)**

2g / 100ml, 4g / 100ml, 6g / 100ml, 8g / 100ml e Água Destilada



**Fonte: O autor.**

Mostra-se aqui a maior resistência térmica da mistura. Esta diferença corresponde a 76% do tempo que a água demorou para evaporar, no mesmo volume e com o mesmo fluxo de calor.

Por fim, nota-se que a chama do incêndio é de potencial térmico muito superior ao da placa do laboratório; cabe ainda o ensaio instrumental, para melhor comparação em um fogo real.

Analisou-se em seguida a amostra de carbonato de cálcio. Este, por mais que possua pouca solubilidade, ainda se dissolve em uma pequena quantidade.

**Tabela 4 – Perda volumétrica x Tempo - carbonato de cálcio em água**

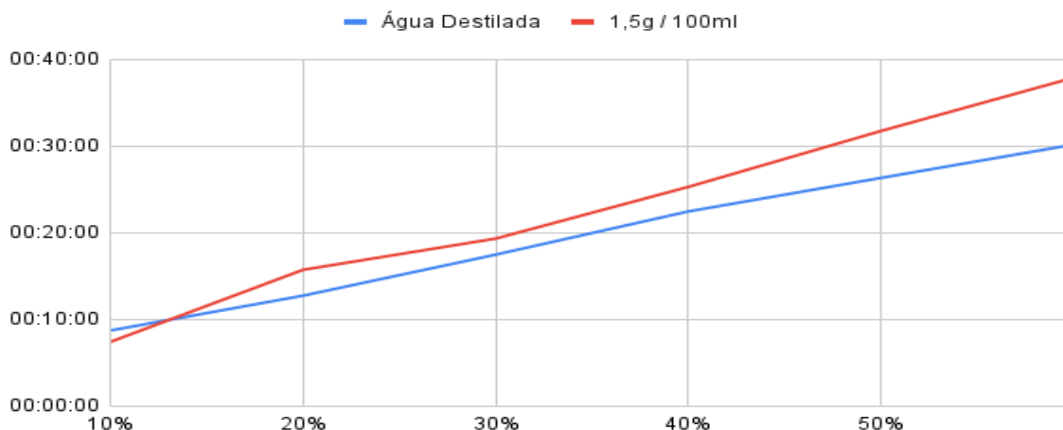
Concentração em 100ml	Perda de 10%	Perda de 20%	Perda de 30%	Perda de 40%	Perda de 50%	Perda de 60%
Água	08:44	12:45	17:29	22:48	26:20	30:11
1.5g	07:25	15:44	19:20	25:18	31:45	37:30

**Fonte: O autor.**

A diferença é notavelmente menor do que a do bicarbonato, o que era previsto. Porém, ainda existe uma contribuição de aproximadamente sete minutos de aumento do tempo de evaporação do mesmo volume.

**Gráfico 2 - Amostra de carbonato de cálcio e água destilada (100ml)**

Água Destilada e 1,5g / 100ml



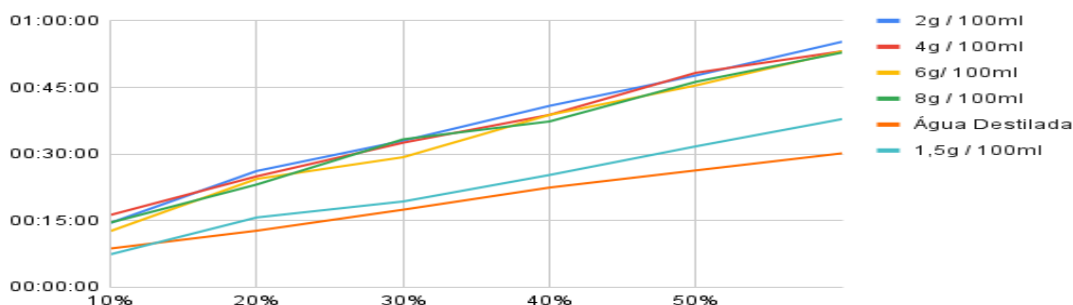
Fonte: O autor.

Veja que o aumento é evidente, de 23%. Como ambos os carbonatos estarão em solução na mistura, o carbonato de cálcio irá também contribuir para o resfriamento total.

Tem-se, portanto, o gráfico final com os experimentos da etapa laboratorial:

**Gráfico 3 - Amostra de carbonato de cálcio, bicarbonato de sódio e água destilada (100ml)**

2g / 100ml, 4g / 100ml, 6g / 100ml, 8g / 100ml, Água Destilada...



Fonte: O autor.

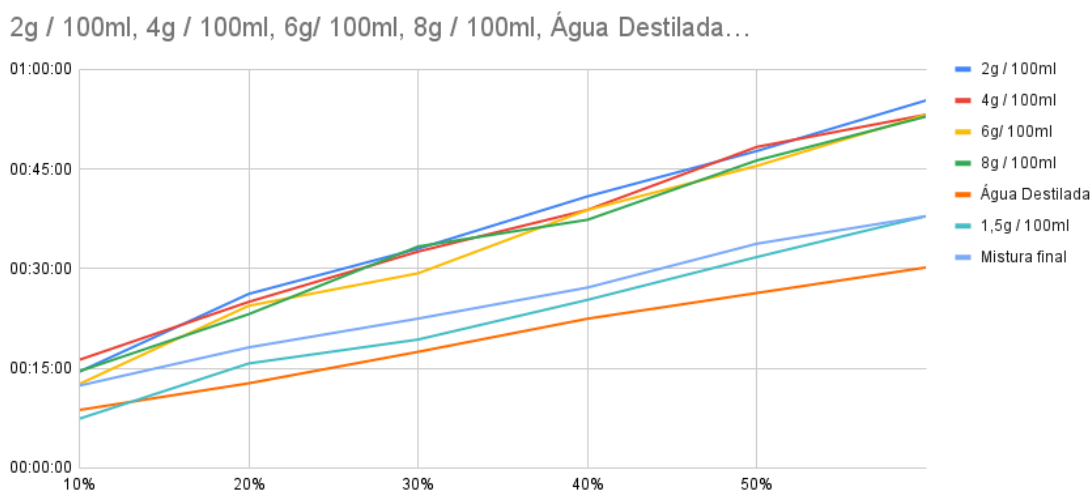
Fica claro a comprovação de que existe uma diferença significativa da capacidade térmica da mistura quando comparada à água.

Ambos os carbonatos irão aumentar a energia necessária para evaporação, que é o objetivo desta pesquisa. Cabe a ressalva de que esta etapa é somente para comprovação da teoria química. Por mais que seja evidente a melhora, esta pode ser irrelevante perante as condições de um incêndio florestal. Por isso as etapas seguintes serão fundamentais para averiguar se existe eficiência no uso do produto final da pesquisa.

### 3.1.1. Análise da mistura dos carbonatos

No gráfico final (Gráfico 3) percebe-se que, ao contrário do que foi teorizado, a mistura não possui capacidade calorífica igual ou maior que a soma das partes. Pelo contrário, nem mesmo é igual ao melhor ganho de absorção térmica, que é, no caso, do bicarbonato de sódio. A mistura dos dois carbonatos comportou-se de forma similar à solução do carbonato de cálcio aquoso, isto é, a contribuição do bicarbonato de sódio diminuiu quando diluído junto com o carbonato de cálcio.

**Gráfico 4 - Todas as amostras realizadas**



Fonte: o Autor

A mistura idealmente teria um comportamento similar com as amostras de bicarbonato de sódio, pois, como dito anteriormente, a contribuição do carbonato de cálcio é pequena para o resfriamento. Porém, visto que este reduziu a capacidade

de resfriamento total do sistema, optou-se por retirar o carbonato de cálcio do produto final e prosseguir somente com o bicarbonato de sódio para a etapa de simulação. Por mais que a possível contribuição do carbonato de cálcio fosse, em teoria, válida, o potencial demonstrado pelo bicarbonato de sódio em laboratório prevalece.

A interação química entre os carbonatos causadora de tal interferência na capacidade térmica demonstrada pelo bicarbonato de sódio não é, neste momento, clara. Sugerem-se estudos sobre o tema, pois a literatura não evidenciou nenhum motivo evidente para tamanha inconformidade da teoria com os experimentos.

### **3.2. Projeto Osiris**

Esta etapa foi de simulações. A ideia inicial era de realizar queimas controladas visando comparar a água com a mistura proposta, e usar parâmetros visuais para diferenciar a eficiência entre os instrumentos de combate. Como descrito,

#### ***3.2.1. Parâmetros e condições experimentais***

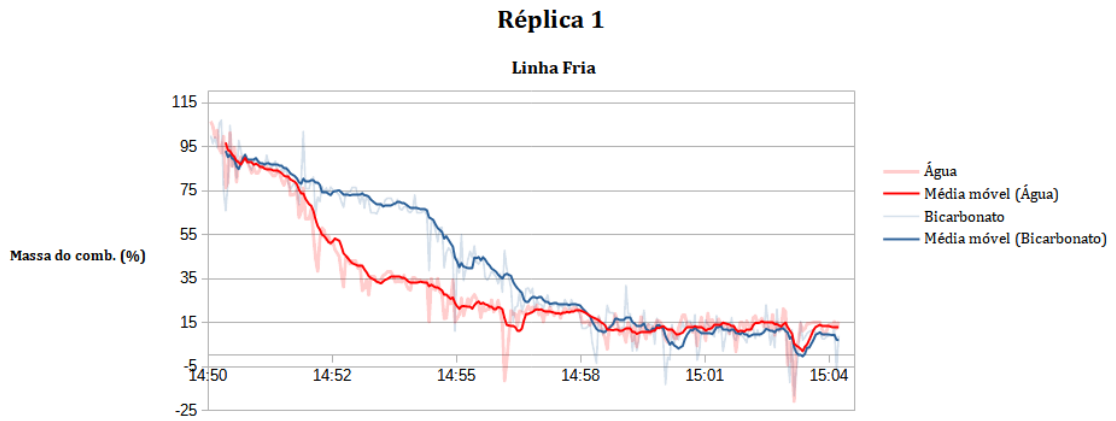
Para as queimas, foram usados cargas e local indicados pelo professor Carlos Henke, inventor do Projeto Osiris e colaborador desta pesquisa, fruto de sua experiência com o instrumento. Os simulados ocorreram na Universidade de Brasília, no Instituto de Biologia, no dia 07 de julho de 2023. A primeira queima iniciou às 11h31 BRT, e a última encerrou-se às 16h09 BRT. Conforme descrito na parte referente à metodologia, o parâmetro principal foi a termogravimetria, com vídeos da câmera térmica de material complementar. Os combatentes que simularam os combates foram o autor deste trabalho e o Cb. Arthur Moraes, outro colaborador deste trabalho.



### 3.2.2. Simulação das linhas frias

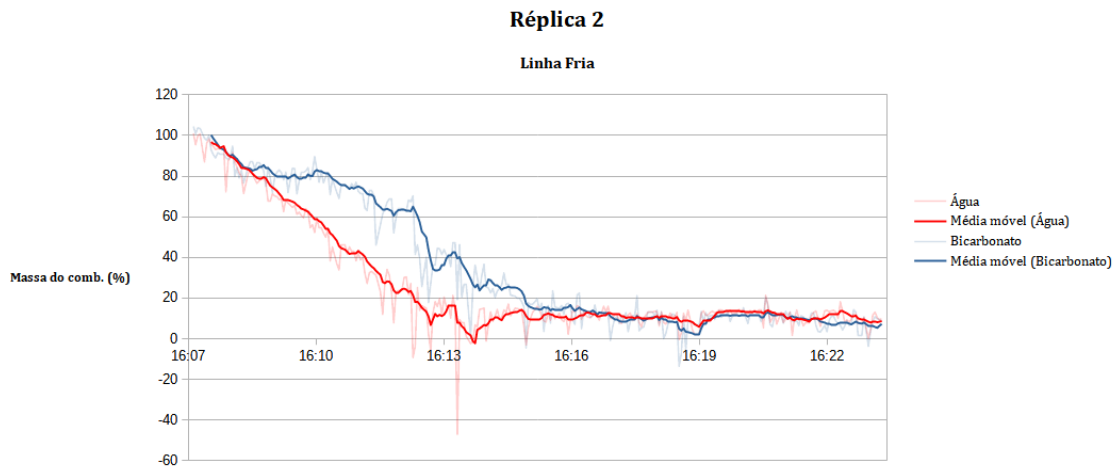
Seguem os dados, gráficos e imagens correspondentes das queimas:

**Gráfico 5 - Primeira réplica de linha fria**



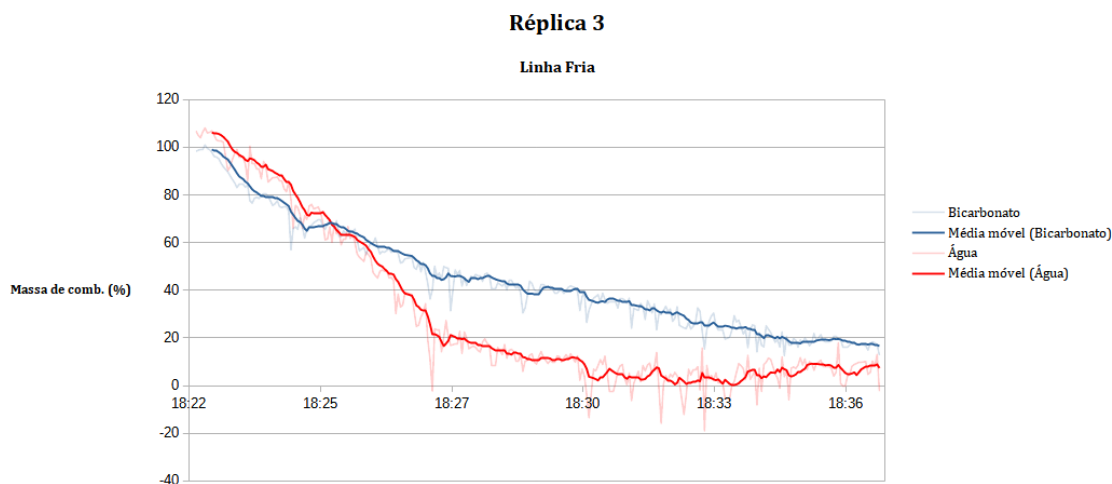
Fonte: o Autor

**Gráfico 6 - Segunda réplica de linha fria**



Fonte: o Autor

## Gráfico 7 - Terceira réplica de linha fria



**Fonte: o Autor**

Os gráficos demonstram o recorte dos dados relativos à queima em si, no momento em que foi iniciado a decomposição térmica da massa presente. Devido à variação dos dados brutos (representados pela linha transparente) causada pelo vento nos momentos de queima, delineou-se uma média móvel para fins comparativos, com a mesma amplitude de dados.

Percebe-se a diferença nítida entre as amostras: o decaimento da massa onde foi aplicada somente água é maior do que onde o bicarbonato foi adicionado ao agente extintor.

No gráfico 5, a massa do lado com água chegou a 35% do valor inicial em aproximadamente três minutos. O lado com a mistura carbonada demorou pouco mais de seis minutos para atingir o mesmo valor.

No gráfico 6, demorou por volta de cinco minutos para o lado com apenas água atingir 20% do valor da massa inicial, e oito para o lado com bicarbonato de sódio.

Por fim, no gráfico 7, foram cinco minutos novamente para chegar aos 20%, enquanto o lado com bicarbonato percorreu mais de dez para alcançar tal redução de massa.

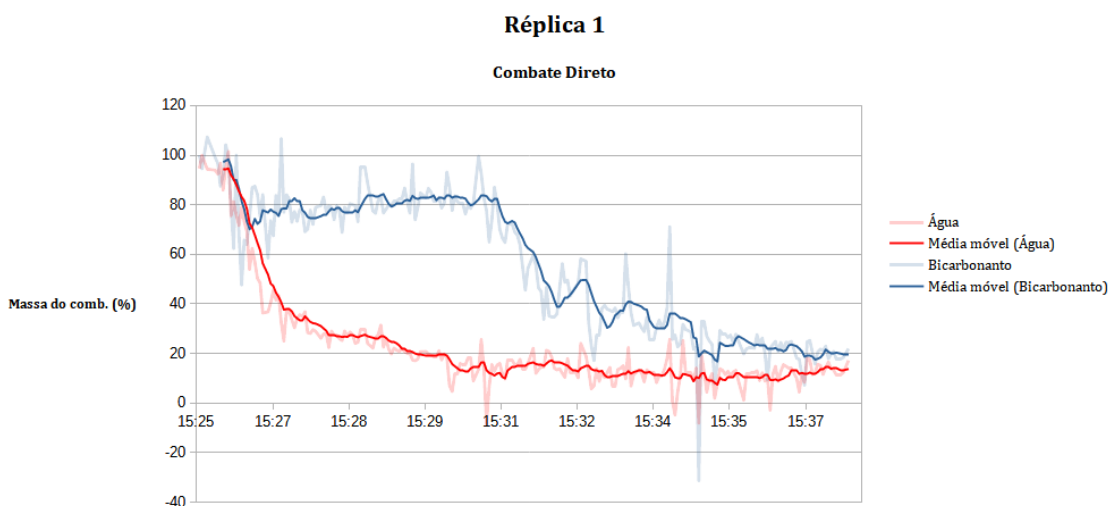
Ficou demonstrado, através destes gráficos, a diferença do potencial extintor da água com bicarbonato de sódio quando comparada paralelamente à água sem aditivos quando usados como linha fria. Tal diferença já se fez nítida empiricamente durante as simulações do dia 07 de julho de 2023 desde a primeira amostra e, então, comprovada pelos dados aqui demonstrados.

### 3.2.3. Simulação de combate direto

A segunda queima de cada réplica foi a simulação de combate direto. Para tentar proporcionalizar o combate ao ambiente da Osíris, esse foi feito com o próprio pulverizador. Foi feito também um revezamento de combatentes e agentes extintores, de forma a tentar reduzir o fator combatente à análise; ambos os combatentes usaram os dois agentes extintores e atuaram de ambos os lados da Osiris.

Seguem os gráficos referentes aos simulados de combate direto das réplicas:

**Gráfico 8 - Primeira réplica de combate direto**

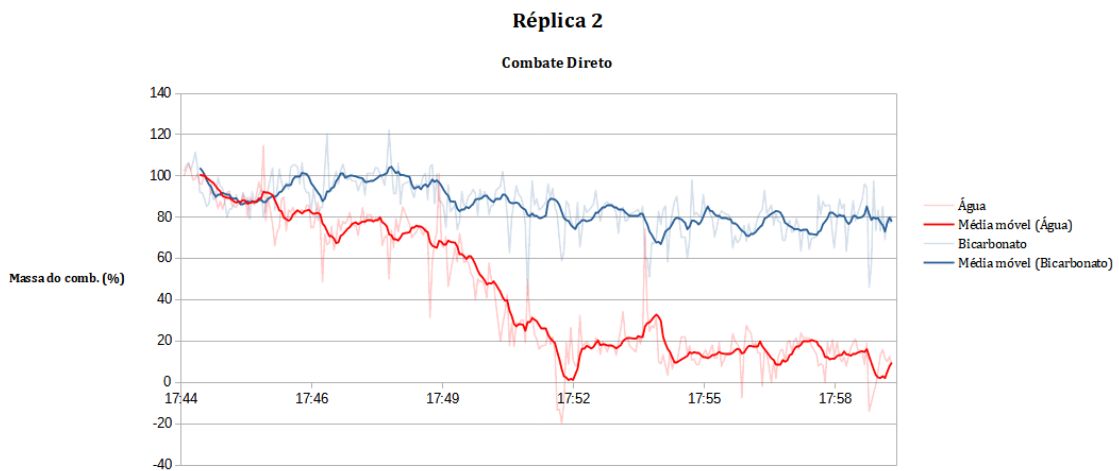


**Fonte: o Autor**

No Gráfico 8, o fogo logo saiu do controle do combatente que utilizou água. Em menos de um minuto, já atingiu 40% da massa e foi usado todo o volume dentro do pulverizador para tentar cessar a queima. Do outro lado, o combate foi realizado por seis minutos de forma eficiente, segurando o avanço das chamas para consumir somente 20% do material. Foi somente após acabar o agente extintor que o fogo

avançou e consumiu o material, chegando a 40% sete minutos depois do início da queima.

**Gráfico 9 - Segunda réplica de combate direto**

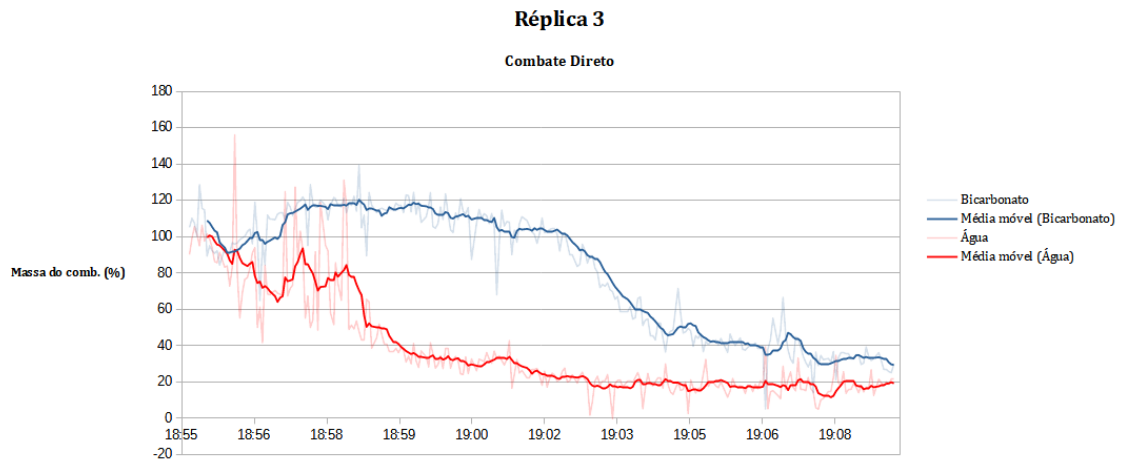


**Fonte: o Autor**

No gráfico 9, o combate foi realizado de forma mais eficiente de ambos os lados. Apesar disso, percebe-se que a água foi mais permissiva, estando sempre abaixo da eficiência do bicarbonato. Neste caso, o combatente que estava usando água tentou resfriar o ambiente para evitar a reignição, sem sucesso; o fogo persistiu além do volume de água usado e terminou de consumir o capim.

Do outro lado, de forma similar, o combatente foi efetivo no combate inicial. Porém, resfriou os focos de calor e aplicou uma linha fria com o que sobrou de volume de mistura carbonada. A massa manteve-se por volta de 80% até o final da análise, ou seja, o combate foi efetivo por completo, evitando o consumo total de combustível, mesmo com volume limitado de agente extintor.

**Gráfico 10 - Terceira réplica de combate direto**



**Fonte: o Autor**

No Gráfico 10, o combate com água foi mais efetivo, segurando por volta de três minutos o avanço das chamas e mantendo 60% de massa intacta, até que seu agente extintor acabou e o fogo alastrou-se livremente. O combate com bicarbonato, porém, controlou plenamente as chamas, mantendo toda a massa íntegra por um pouco mais de sete minutos, e então, com uma reignição e acabando também o agente extintor, degradou-se o combustível.

### **3.3. Discussão experimental**

De acordo com os resultados obtidos com os experimentos, há nítida vantagem da água acrescida com bicarbonato de sódio quando comparada à água pura. Tanto no combate estático (linha fria) quanto dinâmico (combate direto). Os gráficos e dados demonstram que o decaimento de massa combustível é mais lento e, em alguns casos, menor (por cessar a queima) nos combates com a mistura. As imagens térmicas demonstram também a diferença de temperatura dos dois ambientes e o resfriamento causado pela mistura é, novamente, superior.

Como colocado na etapa de revisão de literatura, os dois principais mecanismos de ação do bicarbonato previstos são o abafamento e o resfriamento. A eficiência demonstrada pelo estudo experimental não pode ser claramente atribuída para um ou para o outro, nem mesmo quantitativamente. Os dois mecanismos atuam juntos, e não há como apontar qual é o maior contribuinte.

Mesmo assim, um fator pode ser o diferencial no uso do bicarbonato, observado empiricamente durante os experimentos na Osiris. A quantidade de fumaça branca, ou seja, pirolisada, mas que não entrou em combustão e, portanto, não contribuiu para a reação em cadeia, foi muito maior no lado da Osiris em que o bicarbonato foi usado, fosse em linha fria ou em combate direto. Sendo assim, levanta-se aqui a hipótese de que o abafamento causado pela produção de  $\text{CO}_2$  no microambiente da reação impeça os gases da pirólise de entrar em combustão.

Além disso, por estar diluído em água e, portanto, possuir uma superfície de contato distribuída ao longo do combustível, a presença do bicarbonato onde a solução é aplicada é uniforme. Assim, onde ocorre a queima, há bicarbonato para causar o abafamento quando decompõe.

Note que esta é apenas uma hipótese, e de difícil comprovação experimental. Como a queima acontece em escala molecular, pode-se apenas conjecturar sobre os possíveis mecanismos no microambiente da queima no momento.

#### 4. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho científico de pesquisa é avaliar uma possibilidade nova, que atenda à realidade do CBMDF e mantenha seus ideais, auxiliando a atividade dos nossos combatentes sem ferir o meio ambiente. Há uma delicadeza grande ao realizar ciência aplicada, pois é estritamente parametrada e tem que levar em conta todas as diretrizes da metodologia científica, seguindo sua rigidez mas, ao mesmo tempo, tentando inovar e abrir caminho para novos horizontes.

Os resultados atenderam muito bem o objetivo. Apesar do percalço da exclusão do carbonato de cálcio durante a etapa laboratorial, o estudo do bicarbonato de sódio no Projeto Osiris rendeu resultados surpreendentes e promissores. O aumento de efetividade ficou nítido em todas as réplicas e métodos, demonstrado por gráficos e imagens. Empiricamente, o autor deste trabalho e os colaboradores presentes durante o dia de ensaios visualizam claramente a potência da mistura, e ficou claro que há uma quase que uma obrigação de levar para frente o projeto; tal potencial não pode ser desperdiçado.

Espera-se que o leitor deste relatório consiga, se assim desejar, reproduzir os experimentos realizados dentro das condições que lhe couberem. Quaisquer pesquisas acerca do tema só teriam a acrescentar ao trabalho científico, pois quanto mais dados forem levantados que validem a teoria, mais forte será a argumentação e até mesmo a celeridade do processo de adoção do bicarbonato como possível instrumento de combate ao incêndio florestal.

Pode-se, então, concluir este relatório com a satisfação de realizar um trabalho científico com toda a presteza e cautela que este exige. Parâmetros científicos são sensíveis e demandantes, e obter resultados cientificamente válidos é, em si, uma tarefa muitas vezes dantesca quando se trata de um processo experimental novo. Quando tal pesquisa, além de cumprir tais exigências, ainda demonstra resultados positivos, pode-se dizer que a etapa mais incerta foi vencida. Cabe agora dedicar-se às próximas etapas de normatização para implementar o que foi, neste trabalho, descoberto.