Water Energy
Enerwat
Nexus

utad

C MADE
CENTRE OF MATERIALS & BUILDING TECHNOLOGIES

From water to energy

Characterization, modelling and measures for the reduction of urban and rural household consumption





WATERS: Acquisition and simulation system for acquire dwellings water & energy consumptions

António Cunha
C-BER / INESC TEC
UTAD

Francisco Pereira
UTAD

COMPETE 2020
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional
FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

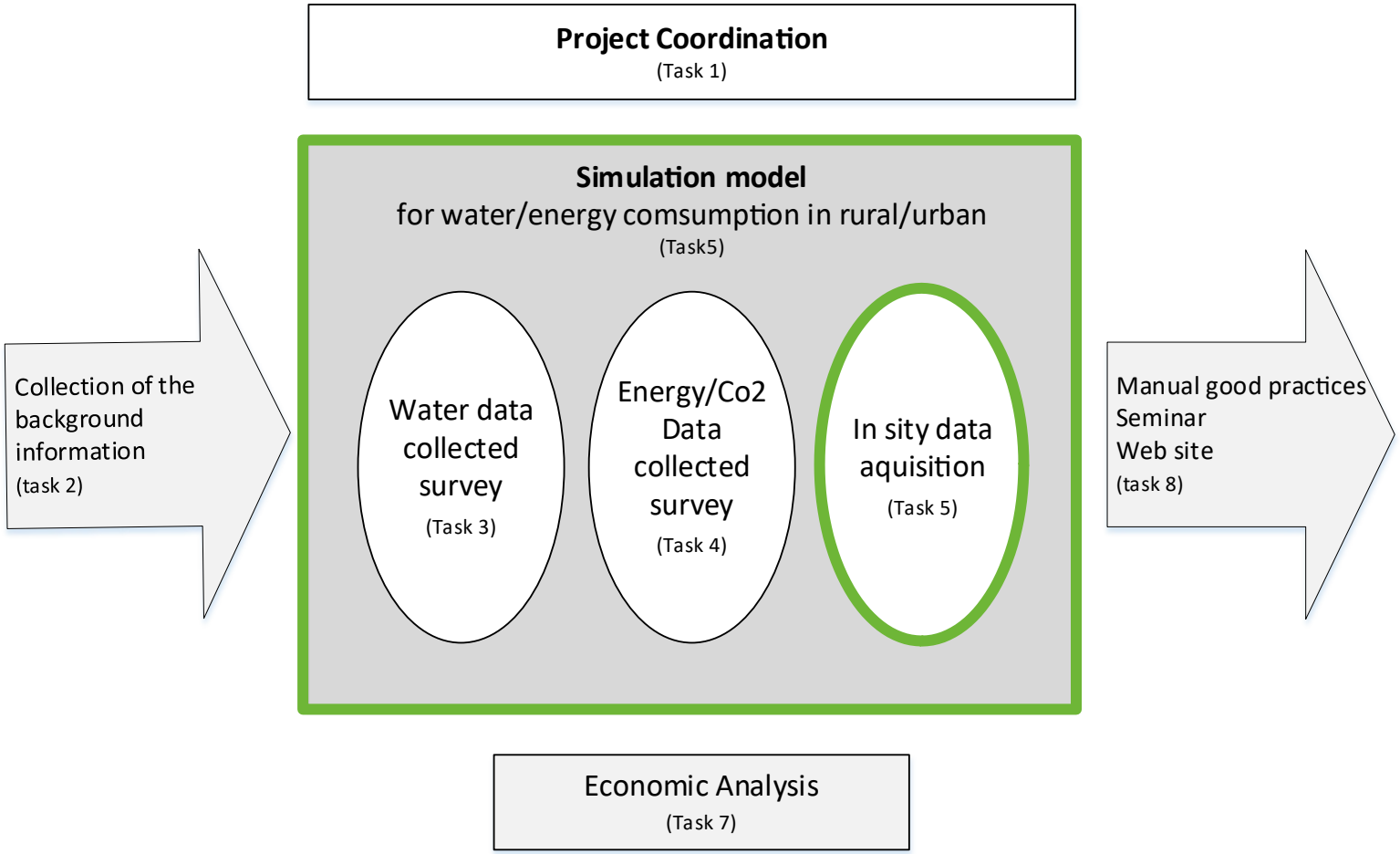
Summary

1. Context
2. WATERS: Acquisition system
3. WATERS: Consumptions estimator and validator
4. Web simulator
5. Conclusion

Enerwat Nexus

1 Context

Project ENERWAT



2 Acquisition system

- Objective
  - *To measure the water and related energy consumption*

- Main requisites
  - Consumptions readouts of water and related energy should be done with high-resolution
    - water/ gas: 0.5 liter, electricity 0.5 Watt, at least at 1Hz) and
    - By each use
  - System should be robust,
    - easy to maintain, have a simple solution for installation and posterior removal, involve as small as possible changes in the infrastructure of the dwelling and minimal impact in households daily life;
  - Use low cost devices;
  - Scalable solution (up to 20 installations);
  - Permits long periods of acquisition (at least 6 month);
  - All acquired data should be centralized in a main system
    - for later validation and usage in a consumption simulator.

Enerwat Nexus

2 The WATERS system

- How to do it?

In

Out

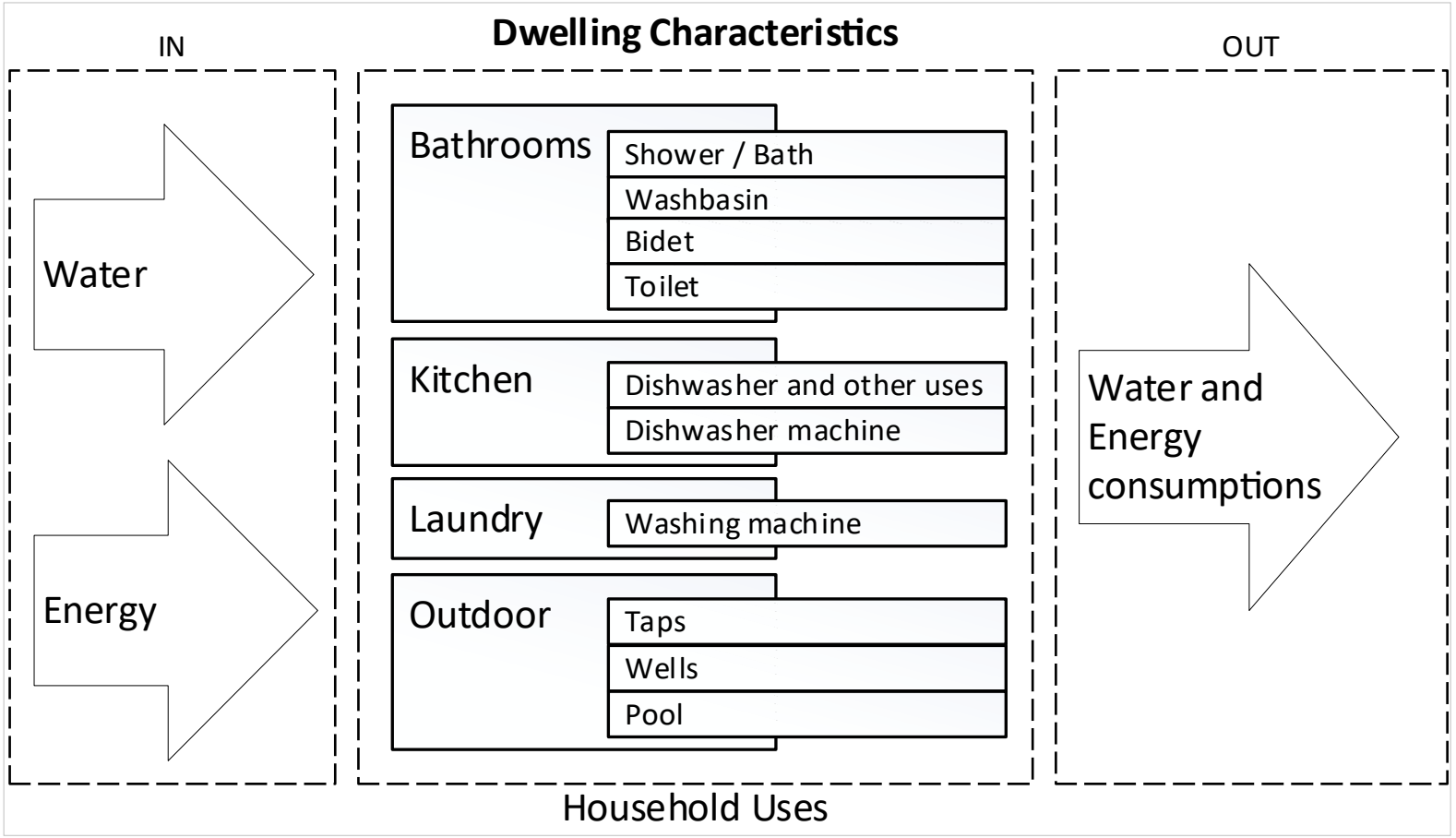
Water

Gas
Electricity
Diesel fuel
Firewood
…

?

2 The WATERS system

- Model of water and energy uses in a dwelling



Where to intervene?

- Simple water consumption points
  - Faucets

- Points of consumption of water and energy
  - Machines: Dishwasher, Clothes washer
  - Heaters, boilers, cylinders, ...

- Domestic water and energy sources
  - Counters: Water, electricity, gas, etc..
  - Water bombs

The WATERS system

What to measure?

- Simple water consumption points
  - Register: Faucets On/Off time stamp
  - Learn: Average flows

What to measure?

- Points of consumption of water and energy
  - Register: device On/Off time stamp
  - Learn: consumption signatures
  - Use: manufacturer datasheet

Domestic water and energy sources

Counters

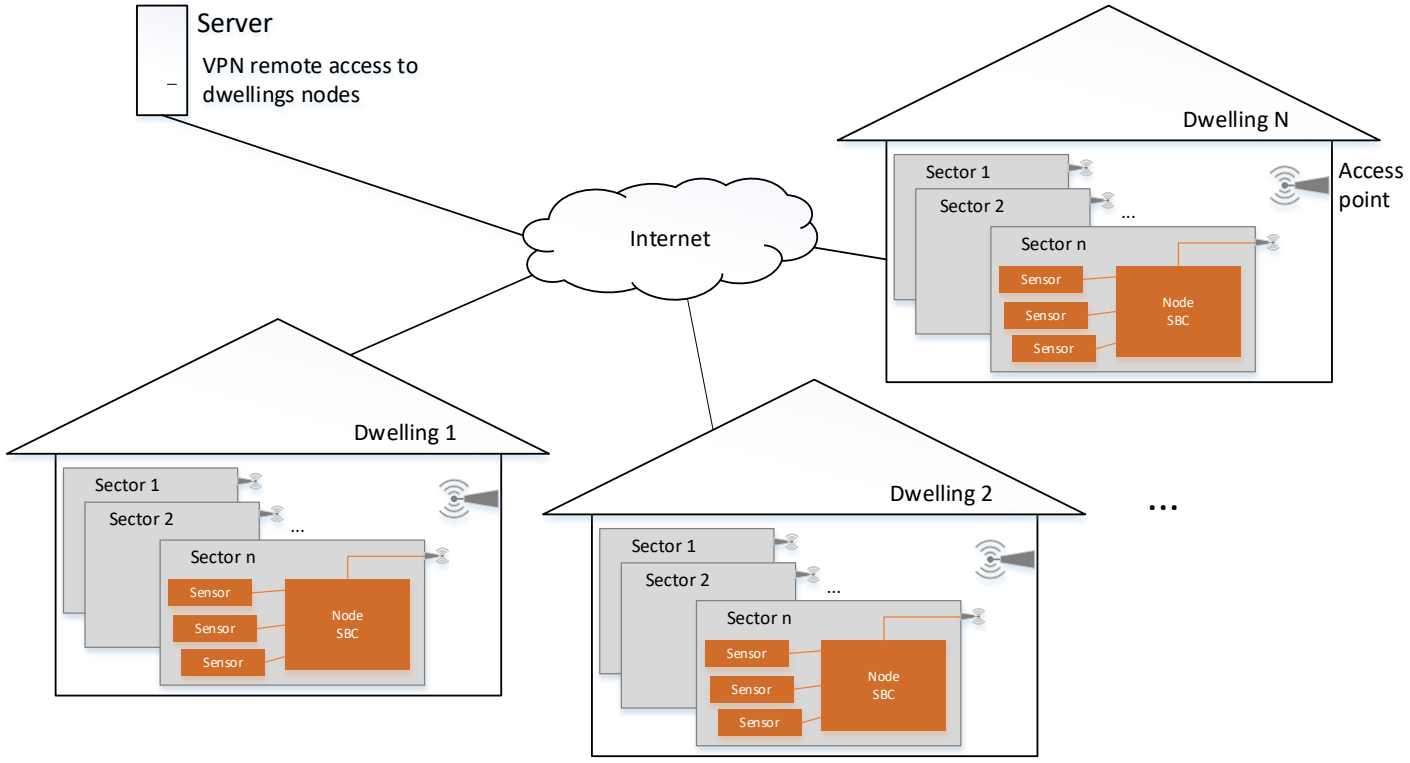
– Register: timestamp reads

Water pumps

– Register: device On/Off
time stamp

The WATERS system

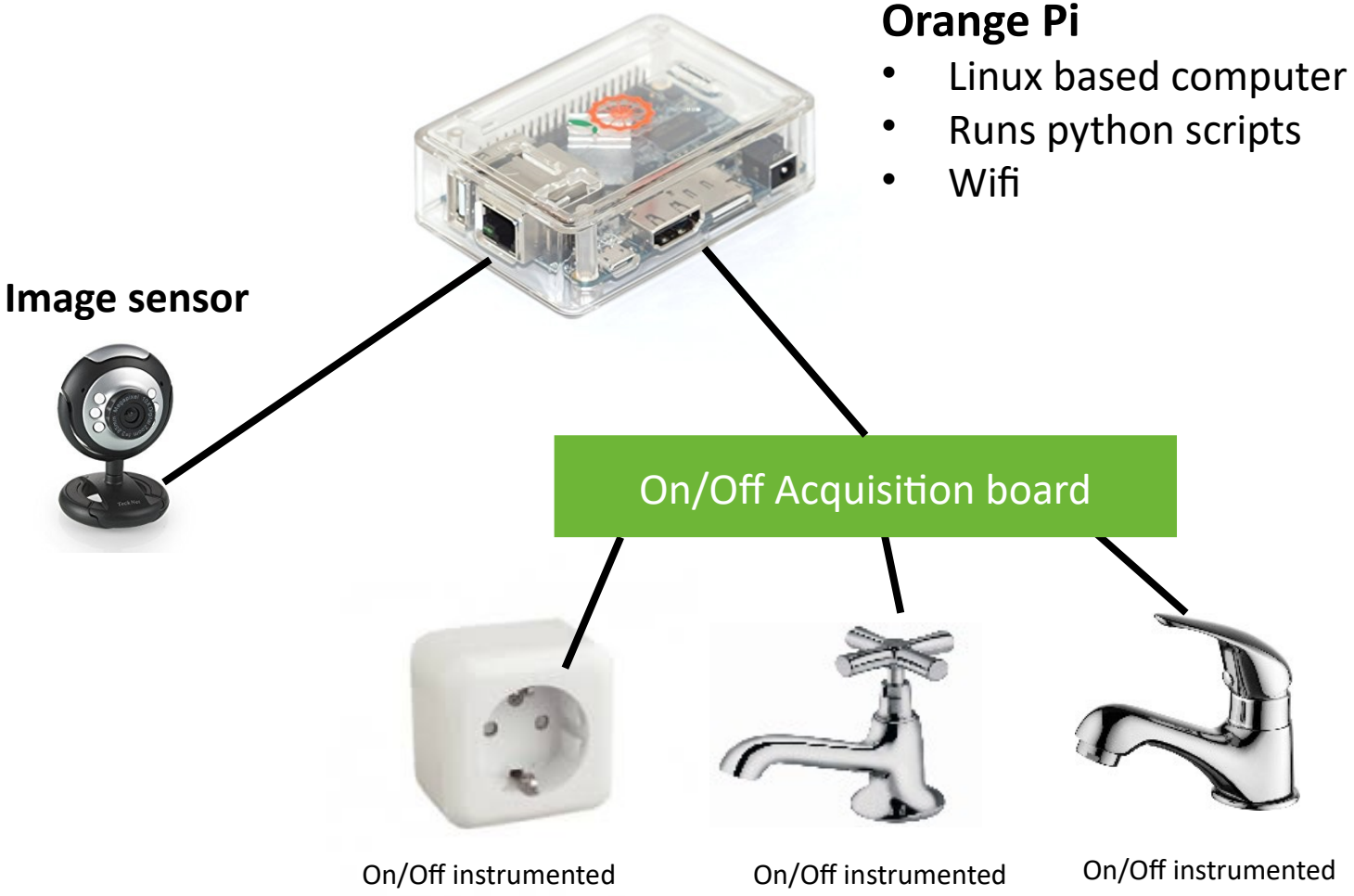
- System architecture



2 Acquisition system

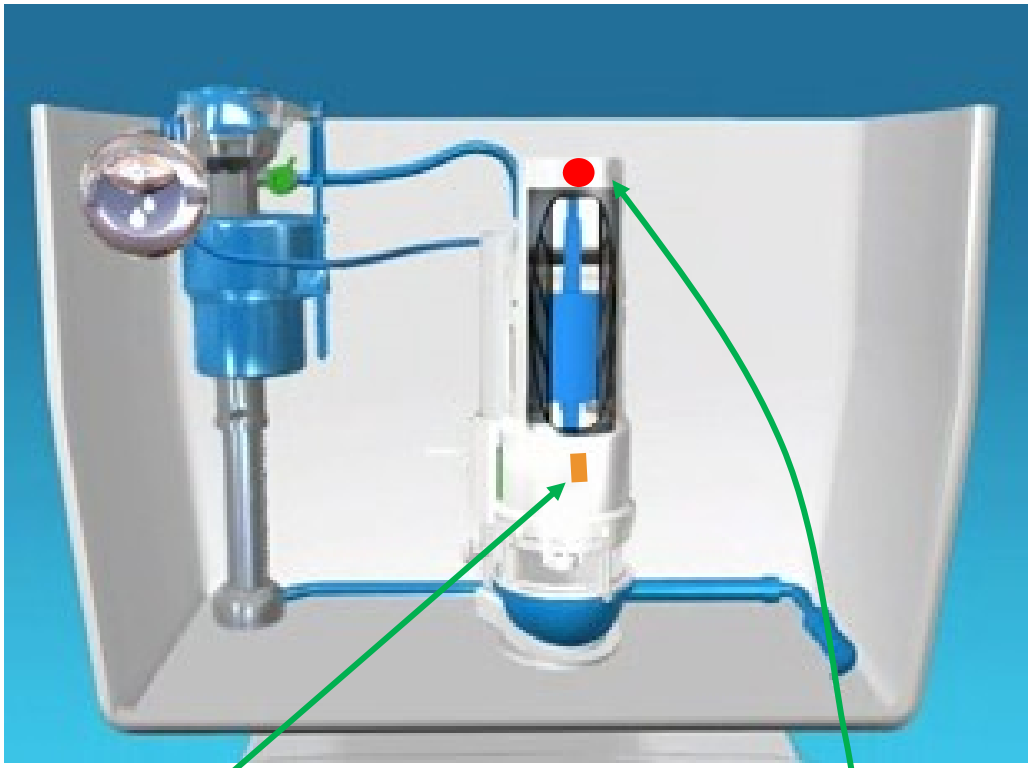
- VPN network
  - Nodes transfer collected data to be saved as backup into a server:
    - only differential changes between backups, smaller amounts;
    - at night in order to not interfere with regular internet usage.
  - Allows remote access to the nodes:
    - checkout node state;
    - correct minor bugs;
    - update software;
    - enable updates/changes to the platform/nodes.
  - Transparent to the dwelling network:
    - No special changes to network;
    - low impact on network: light data traffic (kbytes);
    - works on very slow Internet connections (e.g. rural places).

- **Nodes:** Single board computer acquisition system

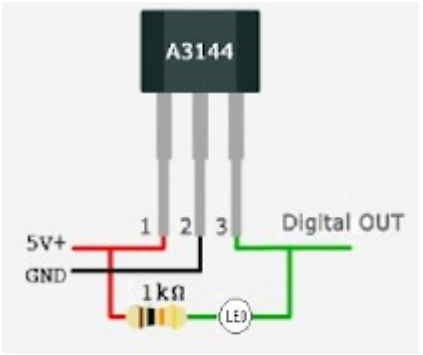


2 Implementation

- **Toilet flushing** On/Off sensor



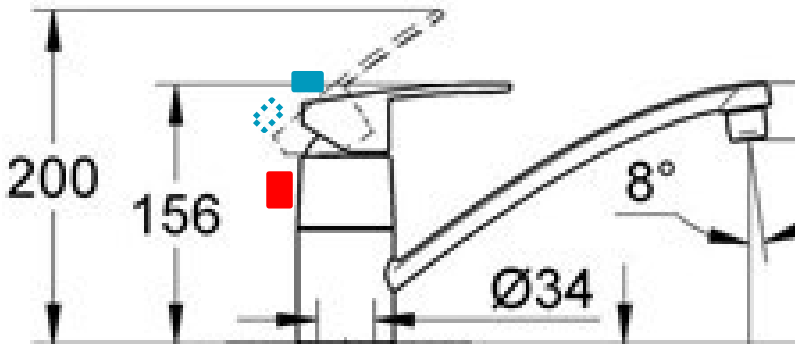
Hall sensor



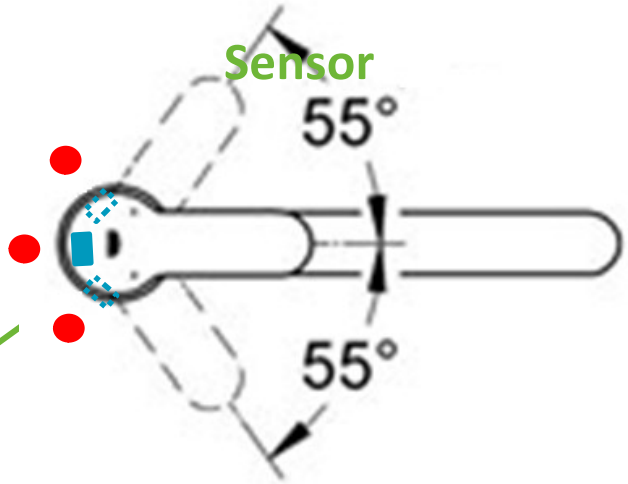
Sensor

2 Implementation

- Faucets mix
  - On / Off



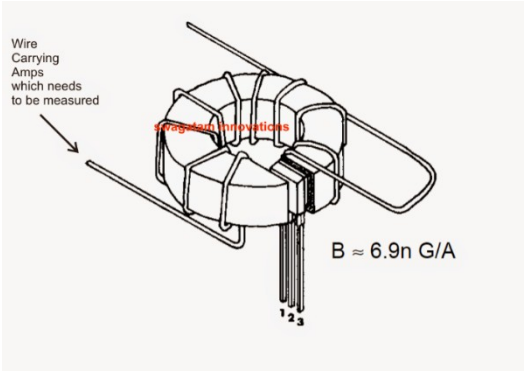
  - Position
    - Left
    - Center
    - Right



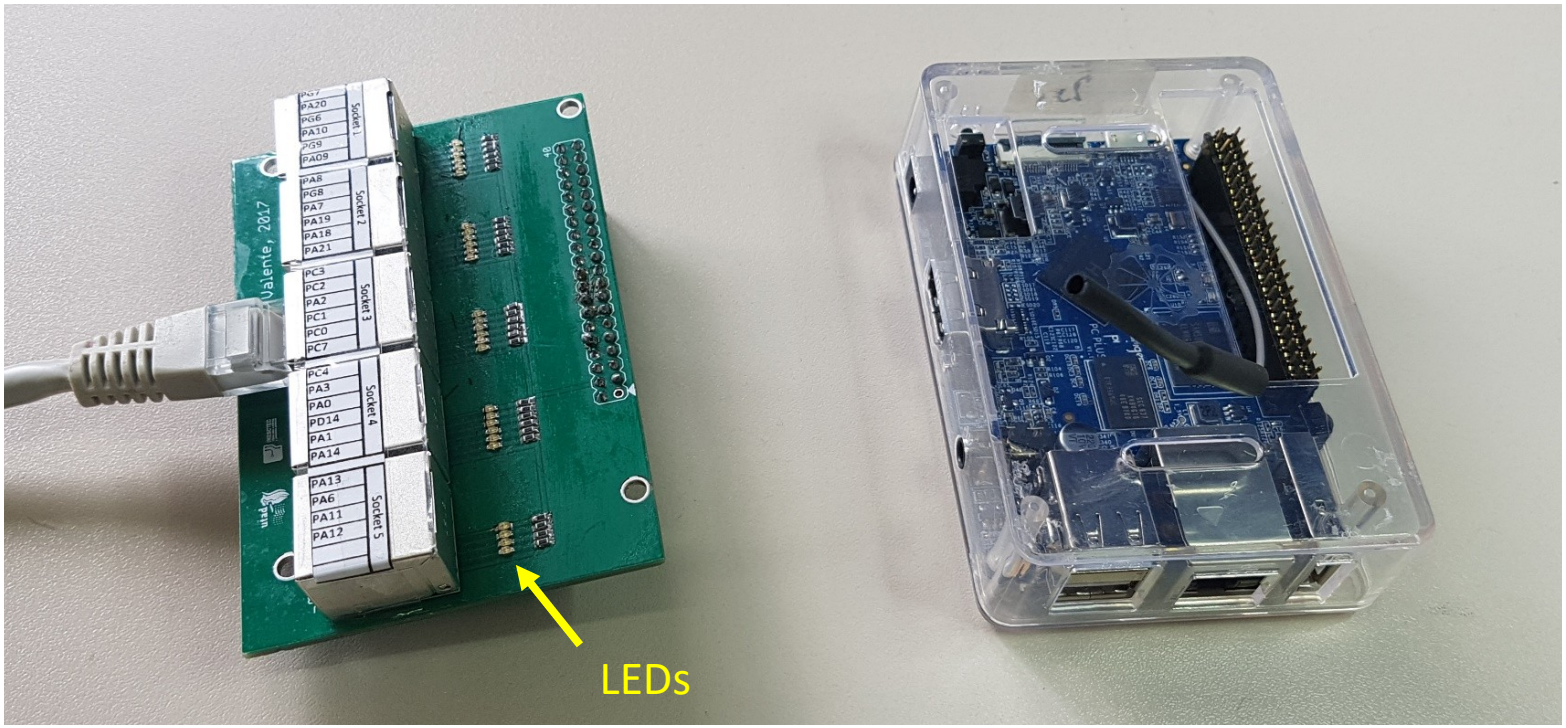
3x magnetic sensors

Magnet

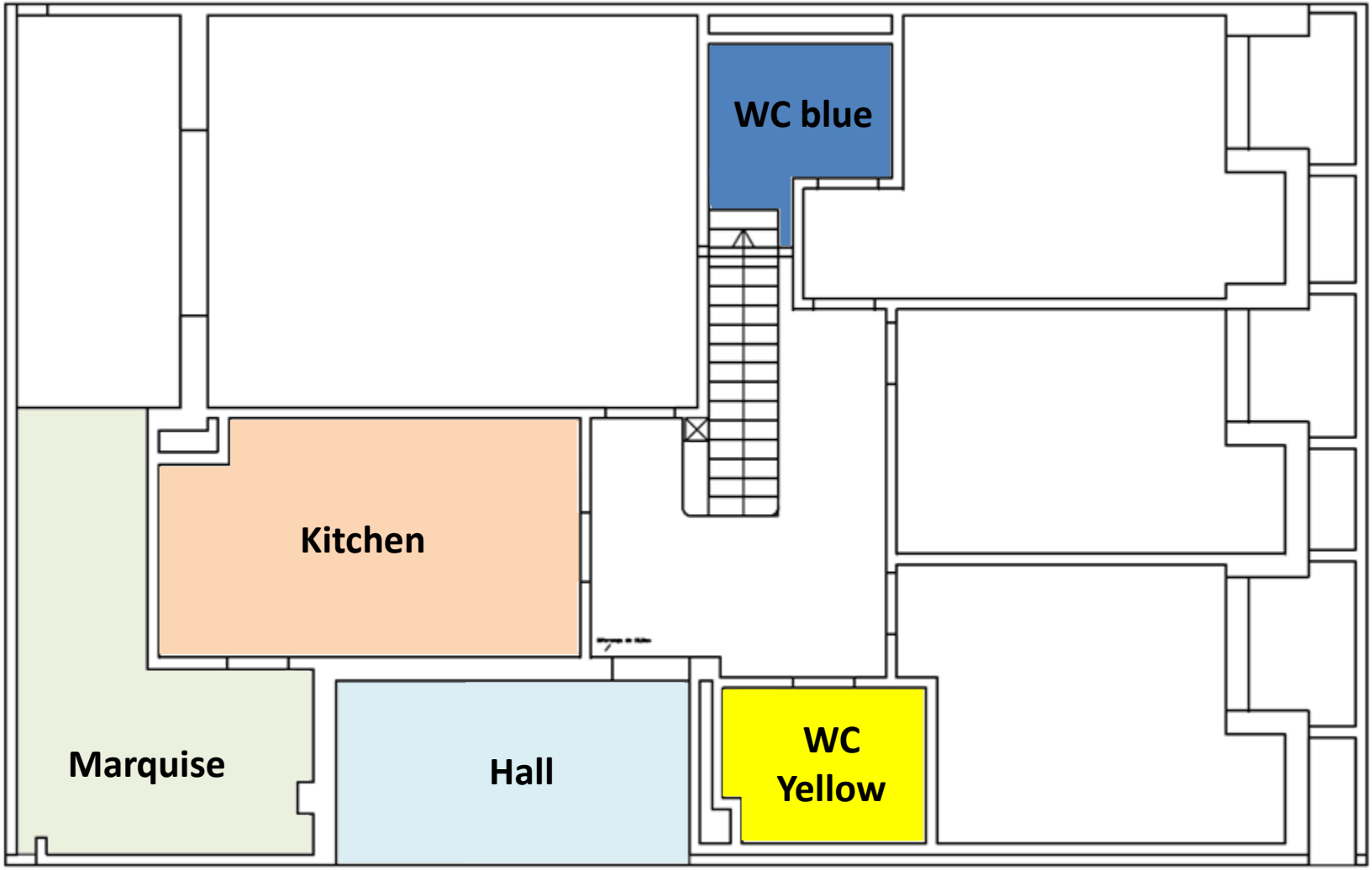
- Clothes Machine / Dishwasher sensor
  - 220V ON/OFF sensor



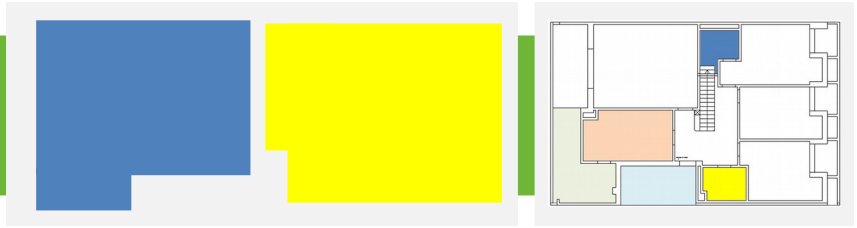
- **Nodes:** On/off sensor interface



2 Case study dwelling - Urban T3



2 Sectors: Bath rooms



- Instrumentation

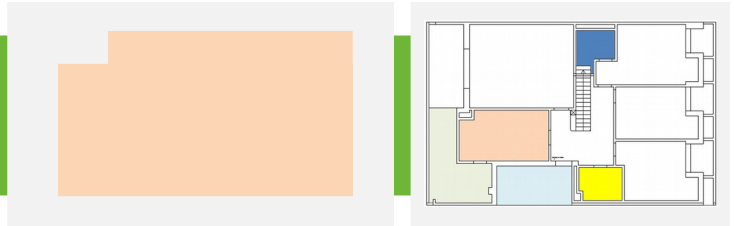







Enerwat Nexus

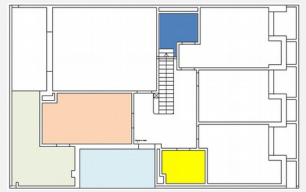
2 Kitchen



- Instrumentation

Enerwat Nexus

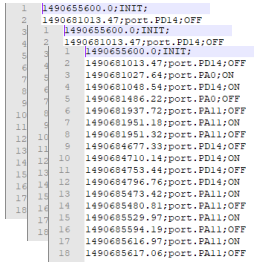
2 Sector: Hall



- Instrumentation

3 WATERS: Consumptions estimator and validator

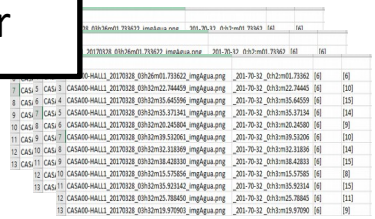
Faucets ON/OFF events



1490655600.0;INIT;
1490681013.47;port.PD14;OFF
1490681027.64;port.PA0;ON
1490681048.54;port.PD14;ON
1490681486.22;port.PA0;OFF
1490681937.72;port.PA11;OFF
1490681951.18;port.PA11;ON
1490681951.32;port.PA11;OFF
1490684677.33;port.PD14;OFF
1490684710.14;port.PD14;ON
1490684753.44;port.PD14;OFF
1490684796.76;port.PD14;ON
1490685473.42;port.PA11;ON
1490685480.81;port.PA11;OFF
1490685529.97;port.PA11;ON
1490685594.19;port.PA11;OFF
1490685616.97;port.PA11;ON
1490685617.06;port.PA11;OFF

Counters reader

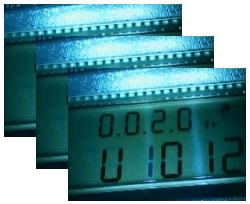
ounters reads



Consumptions estimator and validator

Water and Energy consumptions

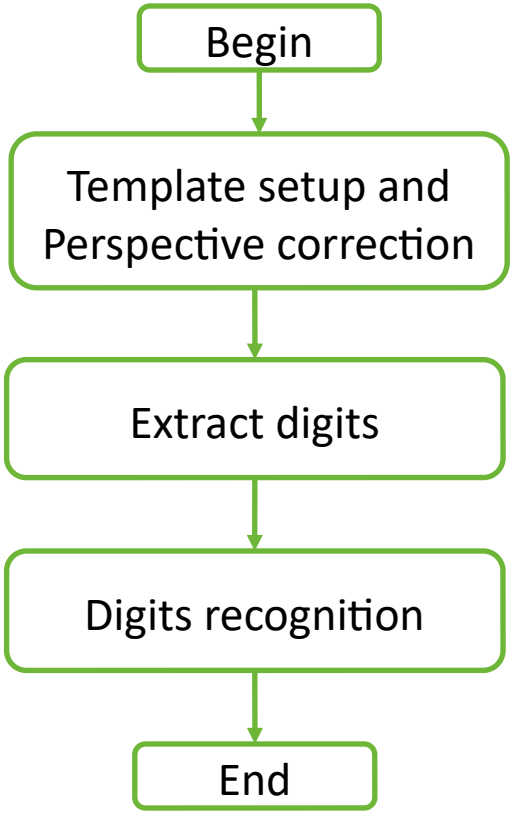
	A	B	C	D	E	F
1	Timestamp	Porta	Setor	Leitura	Valor	Duração
2	28/03/2017 03:32:37.3737	maq_roupa	coz	Água(L)	55	1:03:42
3	28/03/2017 03:32:37.3737	maq_roupa	coz	Gás	0	1:03:42
4	28/03/2017 03:32:37.3737	maq_roupa	coz	Eletricidade(KW)	2,5	1:03:42
8	28/03/2017 07:03:48.4848	torneiraBanheira	wc1	Água_Quente(L)	3	00:21,2
9	28/03/2017 07:03:48.4848	torneiraBanheira	wc1	Gás	10	00:21,2
10	28/03/2017 07:03:48.4848	torneiraBanheira	wc1	Eletricidade(KW)	0	00:21,2



Enerwat Nexus

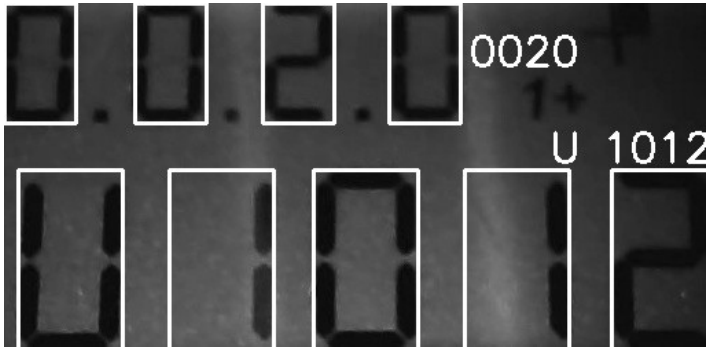
2 Counters Reading - 7 segments digit recognition

- Digital digits counter



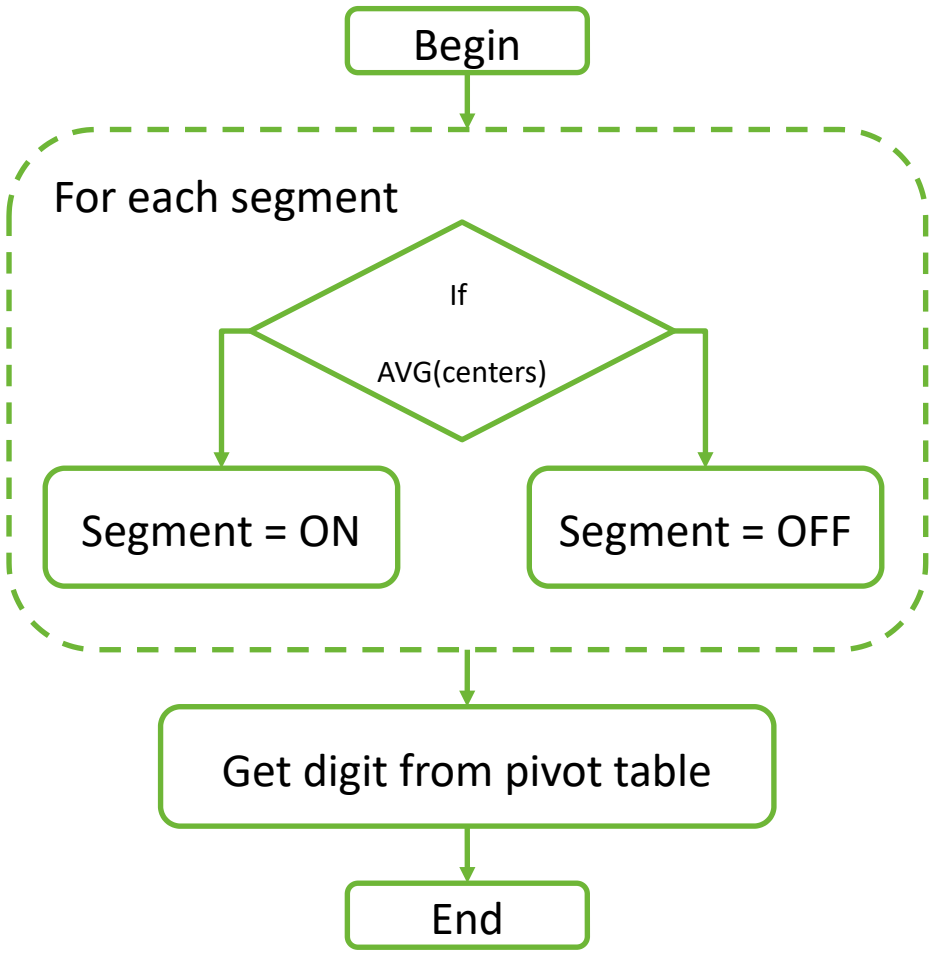
Input

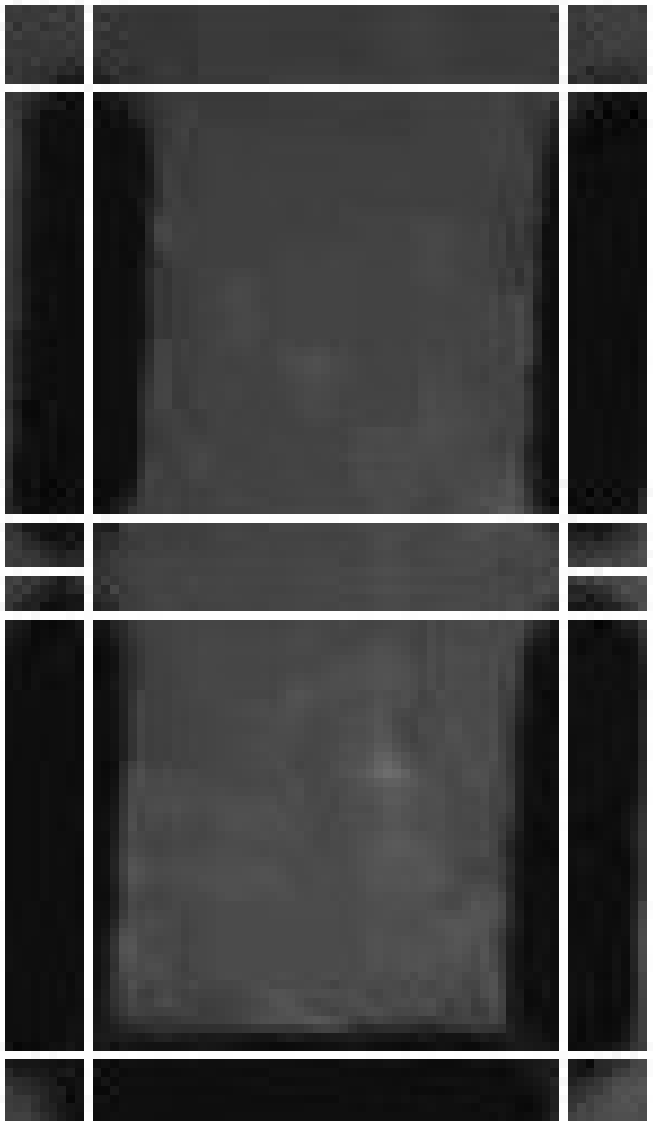
Output



Enerwat Nexus

2 Counters Reading - 7 segments digit recognition





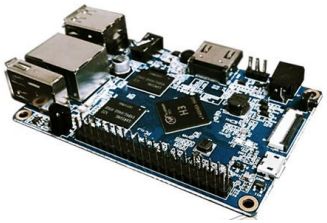
Inspired in: Recognizing digits with OpenCV and Python, Adrian Rosebrock, http://www.pyimagesearch.com/2017/02/13/recognizing-digits-with-opencv-and-python/

2 Analog counters: image aquisition

Gas counter

Water counter

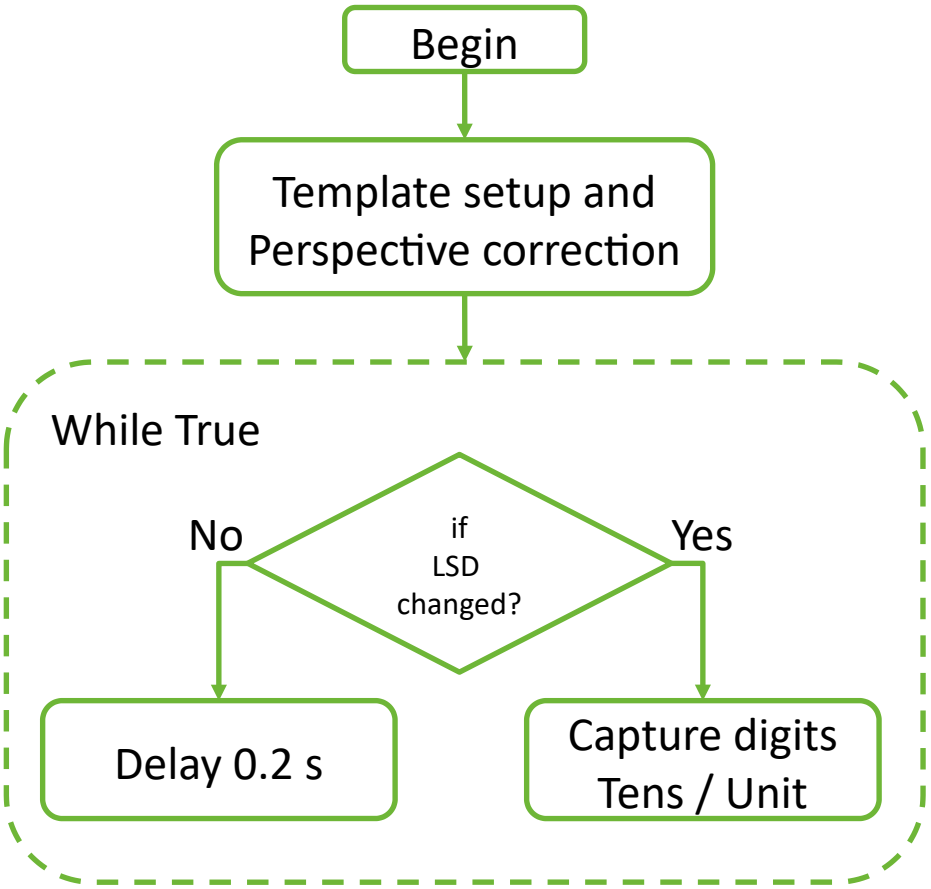
Electricity counter



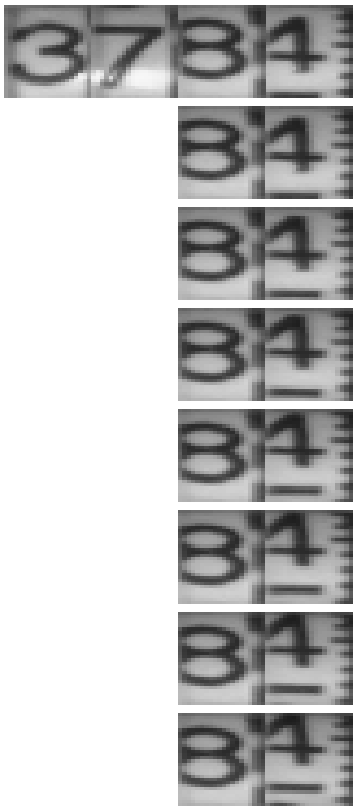
OCR / Machine learning

Reads	9461,5	2077,0	9461,5

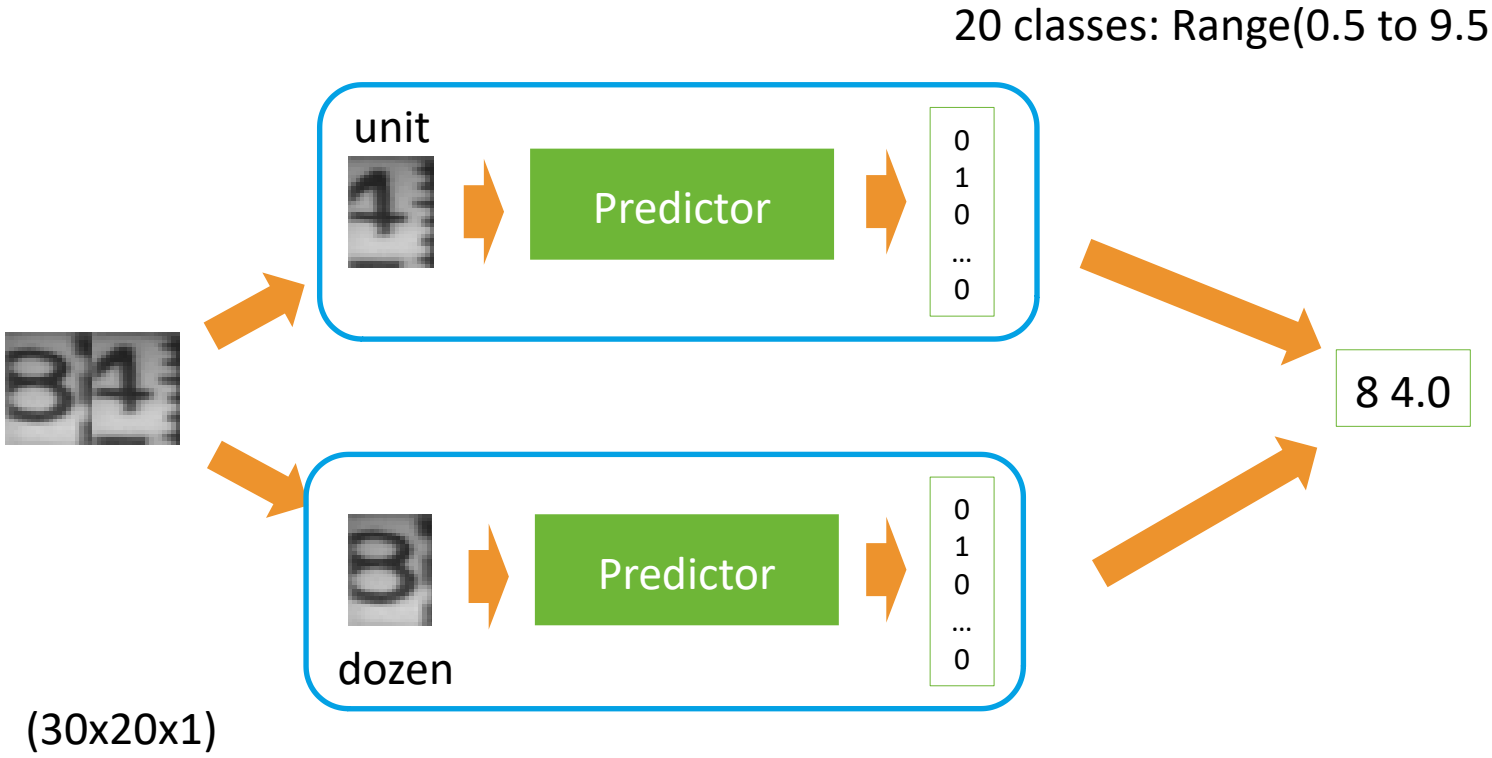
2 Analog counters: Algoritm



Water counter

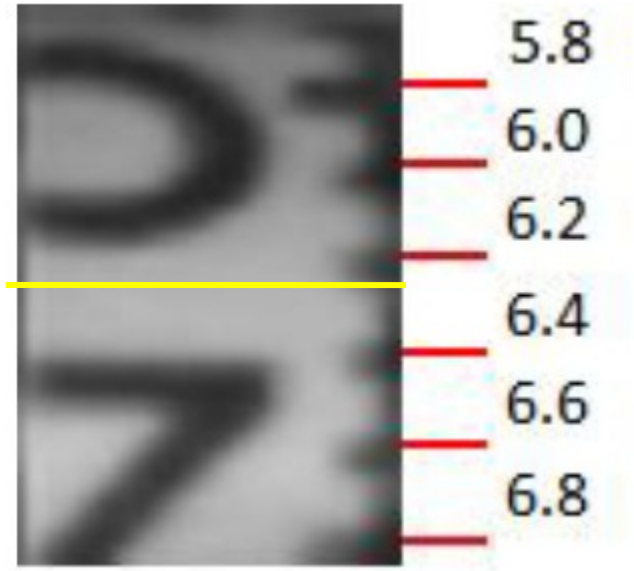


3 CNN architecture: Dozen vs Unit digits

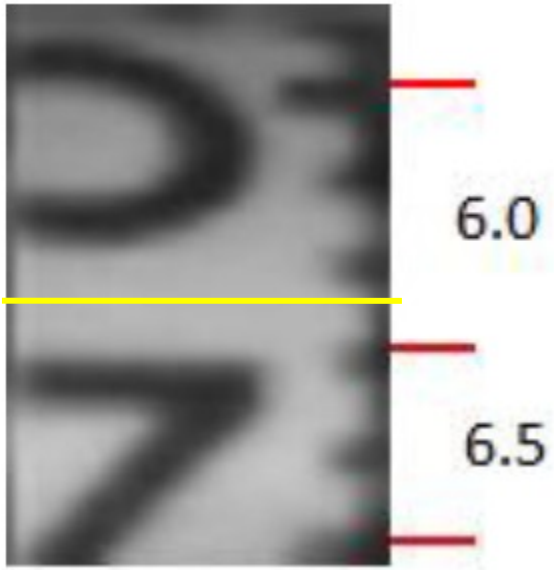


3 Digit annotation

- **Water** and **Gas** unit Digit has grids



0.2 grid



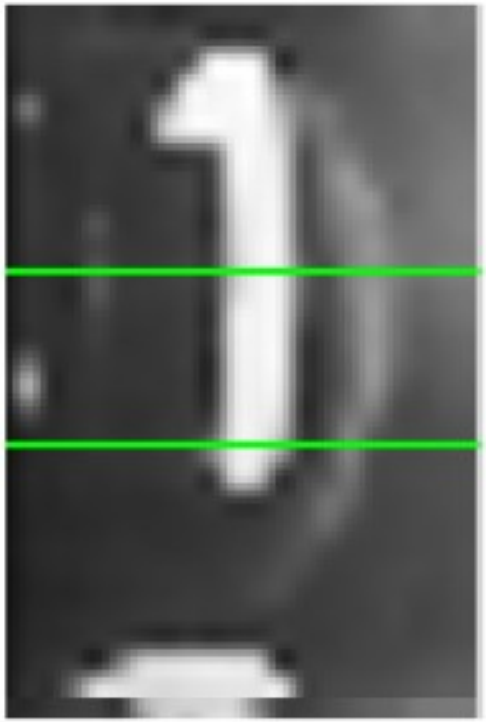
conversion to
half unit precision

Read: 6.2 → **Read: 6.0**

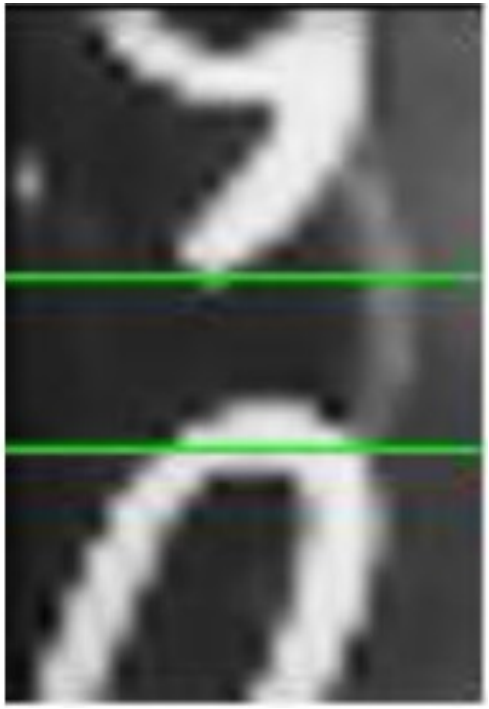
Enerwat Nexus

3 Digit annotation

- Electricity unit digit has no grid



Read: 1.0



Read: 9.5

Enerwat Nexus

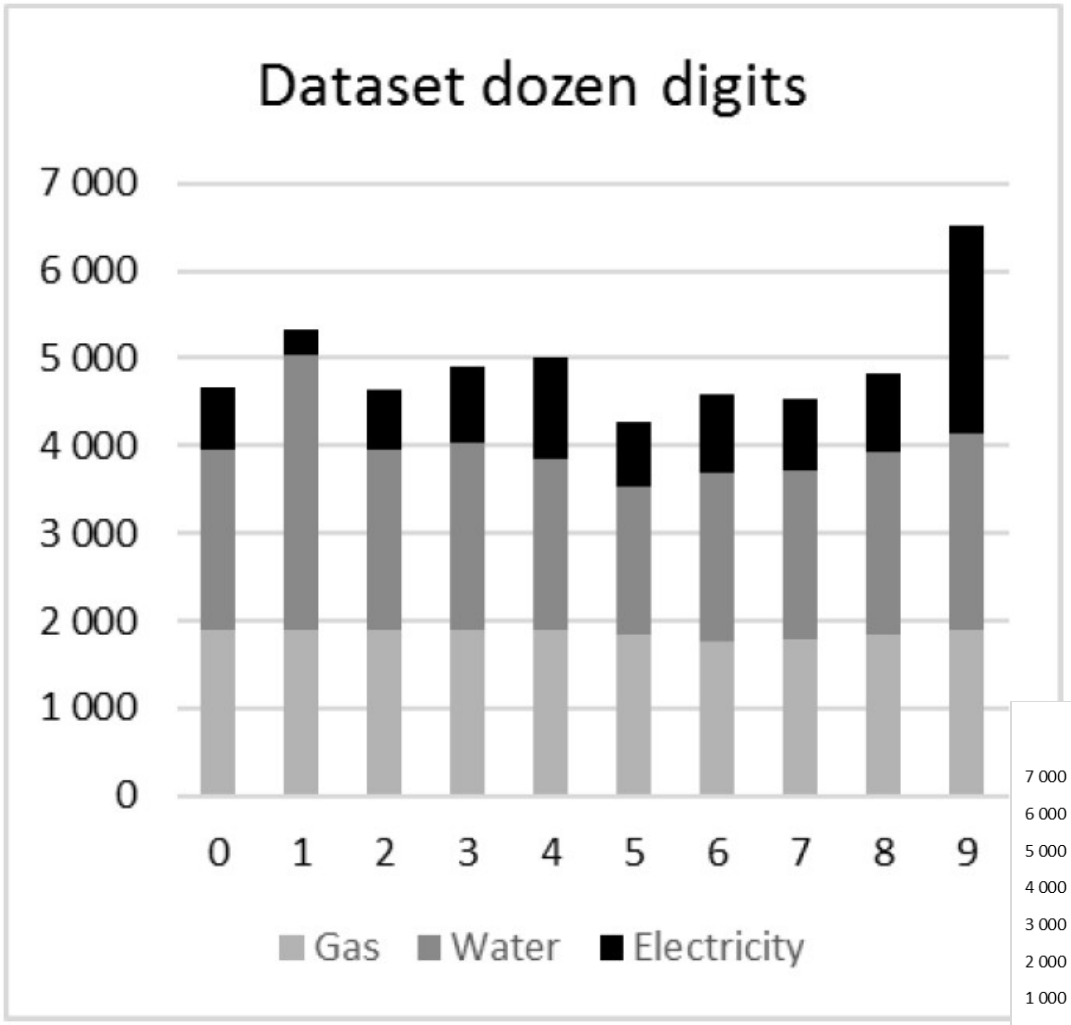
3 Annotation Tool (Excel)

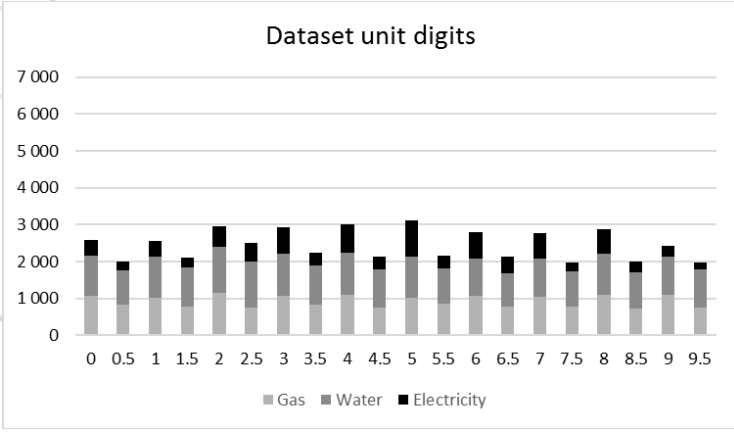
Enerwat Nexus

Digits	File Name	Dozens	Units
	03h18m17.855454_imgWater.png	4	5.8
	03h19m20.147402_imgWater.png	4	6.8
	03h19m24.181182_imgWater.png	5	0.6

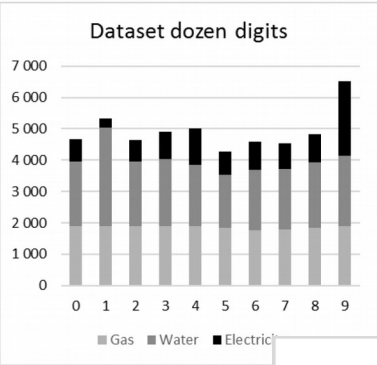
Digits	File Name	Dozens	Units
	22h43m47.427150_imgElectricity.png	2	9.5
	04h55m34.742020_imgElectricity.png	3	1.0
	04h56m02.161335_imgElectricity.png	3	1.5

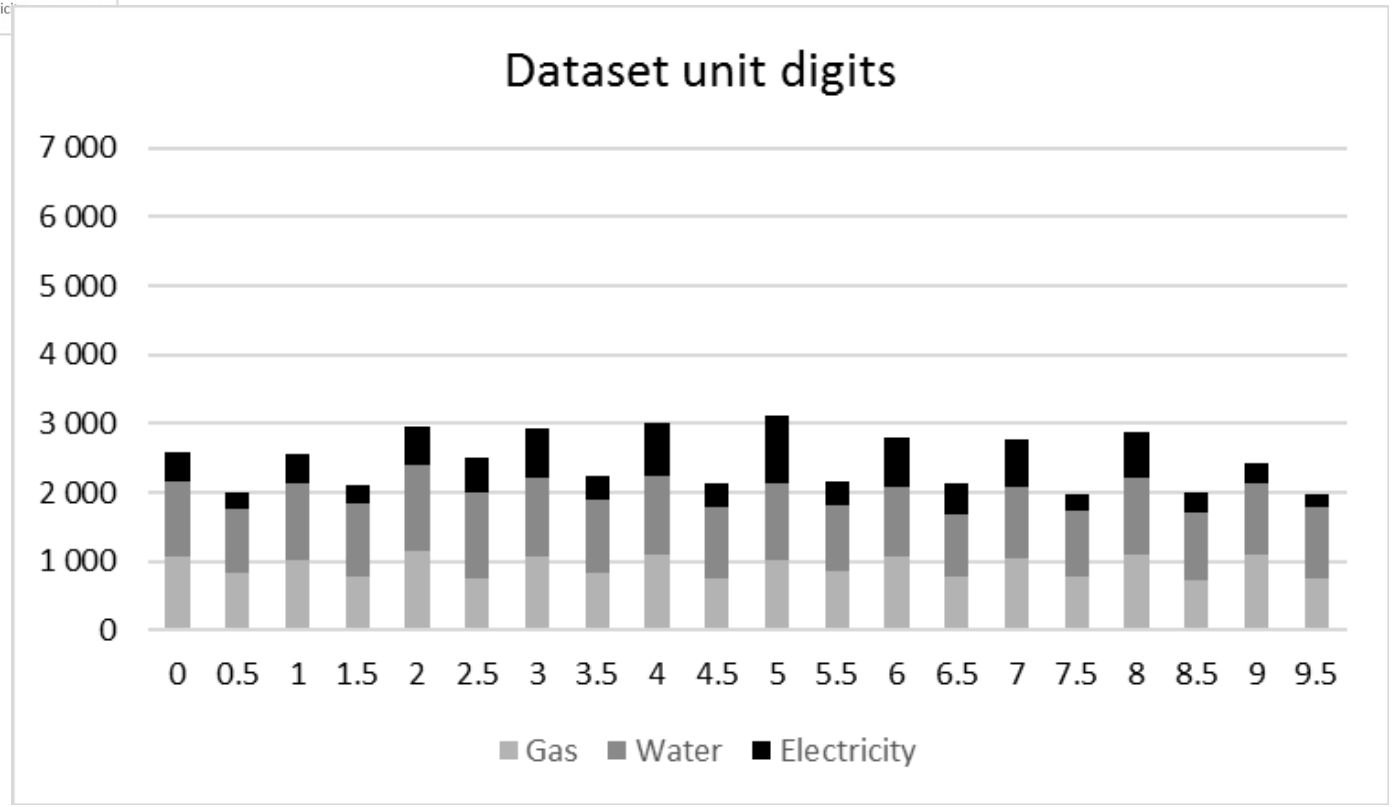
3 Dataset histograms





3 Dataset histograms





Nexus

Enerwat

4 Analogic digits reads

		Water		Gas		Electricity	
		Dozens	Unit	Dozen	Unit	Dozen	Unit
Training	Epochs	20	100	20	20	20	20
	Accuracy	0.9988	0.9861	0.9994	0.9948	0.9990	0.9948
	Loss	0.0039	0.0346	0.0021	0.0136	0.0035	0.0146
Test	Accuracy	0.9888	0.9249	0.9477	0.9930	0.9996	0.9956
	Loss	0.1801	1.1882	0.8417	0.1092	0.0019	0.0127

Enerwat Nexus

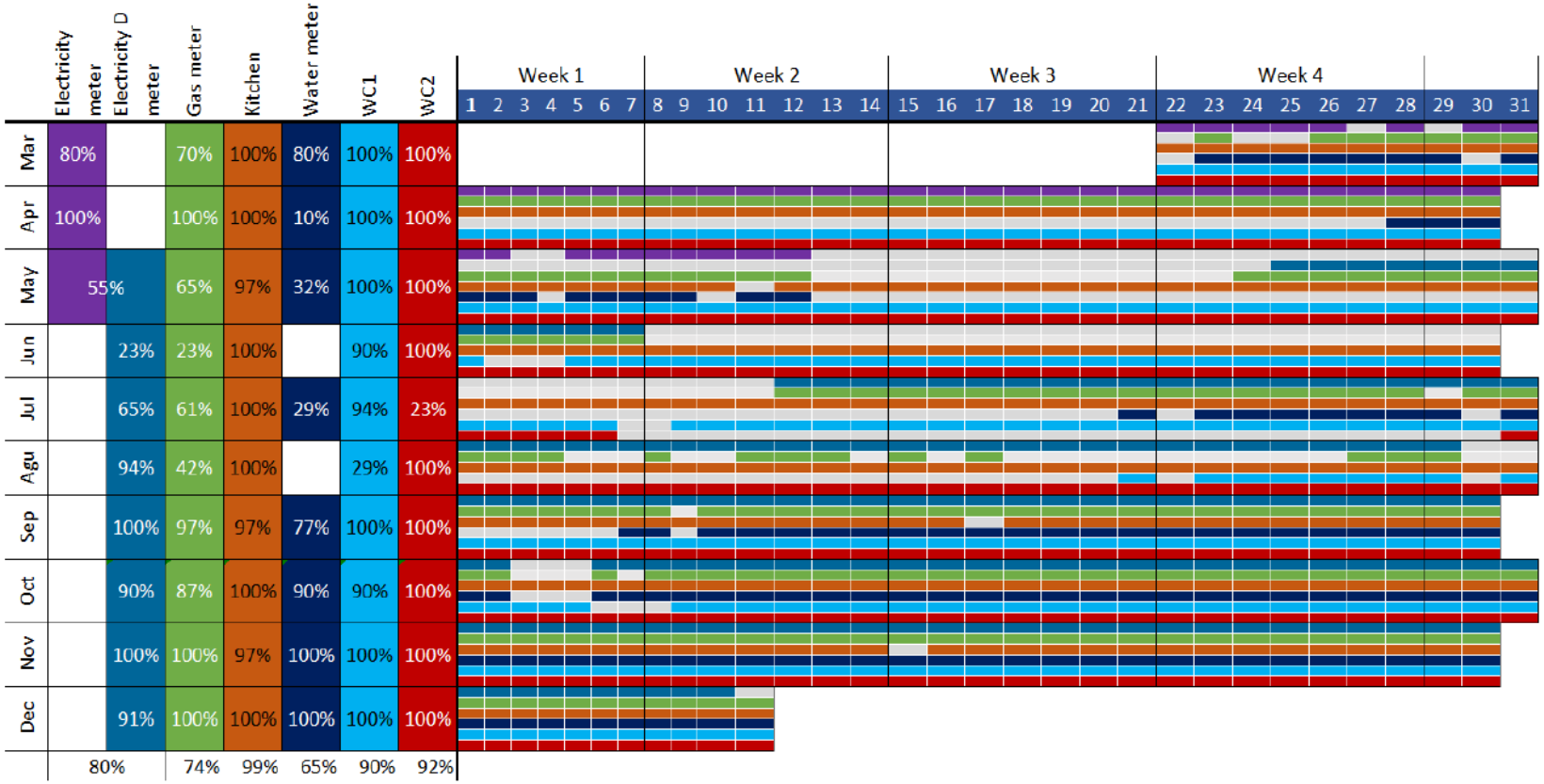
2 Costs

Devices	Cost (€)
4 Orange PI SBC (with case, memory card and sensor interface)	263
Sensors	15
Cables, chargers, sockets, plugs	47
3 Webcams	36
Other material (tape, glue, magnets)	10
Total	**371**

- The hardware cost is very low compared to other systems used in the literature
- Labor costs and travel costs for an operator to configure and maintain the system are not included
  - but are an important parcel of the costs.
  - however we believe that these will be the same or lower than other systems used.

3 Results

- WATERS system acquisition – Case study dwelling



	Electricity meter	Electricity D meter	Gas meter	Kitchen	Water meter	WC1	WC2
Mar	80%		70%	100%	80%	100%	100%
Apr	100%		100%	100%	10%	100%	100%
May	55%		65%	97%	32%	100%	100%
Jun		23%	23%	100%		90%	100%
Jul		65%	61%	100%	29%	94%	23%
Agu		94%	42%	100%		29%	100%
Sep		100%	97%	97%	77%	100%	100%
Oct		90%	87%	100%	90%	90%	100%
Nov		100%	100%	97%	100%	100%	100%
Dec		91%	100%	100%	100%	100%	100%
	80%		74%	99%	65%	90%	92%

At the time of this publication the system is installed in 9 dwellings acquiring data.

3 Results

- Reasons that contributed for the missing files
  1. The first installed sensors to register faucets were poorly insulated.
     - After some time, they had water infiltration and stop working.

Solution: new sensors were made and installed with rubber tape;

3 Results

- Reasons that contributed for the missing files
  1. The first installed sensors to register faucets ….
  2. It was verified that SBCs sometimes stop working:
     - Sometimes due the power supply that required replacement,
     - other times the software just crashed requiring reboot, or
     - simple the household unintentionally disconnect the node.

Solution: These situations lead to the development of the monitoring routine, implemented in a server, and to periodically verifications of all the nodes.

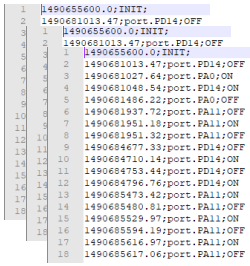
3 Results

- Reasons that contributed for the missing files
  1. The first installed sensors to register faucets …
  2. It was verified that SBCs sometimes stop working
  3. In May the electricity company informed the owners that the **analogical meter** “Electric meter” would be replaced by a **digital meter** “Electricity D meter”.
     - It was decided to remove all 3 webcams (water, gas and electricity) in 13 May.
     - Although the new digital routine was implemented and installed at 25 May, several adjusts were necessary to have it works properly.
     - The problem was solved in the begin of September, after the summer vacations

Enerwat Nexus

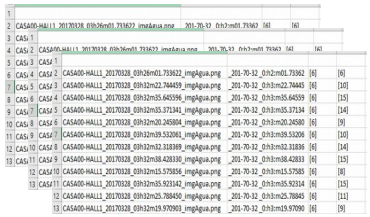
4 Consumptions estimator and validator

Faucets ON/OFF events



```
1490655600.0;INIT;
1490681013.47;port.PD14;OFF
1490681027.64;port.PA0;ON
1490681048.54;port.PD14;ON
1490681486.22;port.PA0;OFF
1490681937.72;port.PA11;OFF
1490681951.18;port.PA11;ON
1490681951.32;port.PA11;OFF
1490684677.33;port.PD14;OFF
1490684710.14;port.PD14;ON
1490684753.44;port.PD14;OFF
1490684796.76;port.PD14;ON
1490685473.42;port.PA11;ON
1490685480.81;port.PA11;OFF
1490685529.97;port.PA11;ON
1490685594.19;port.PA11;OFF
1490685616.97;port.PA11;ON
1490685617.06;port.PA11;OFF
```

Counters reads



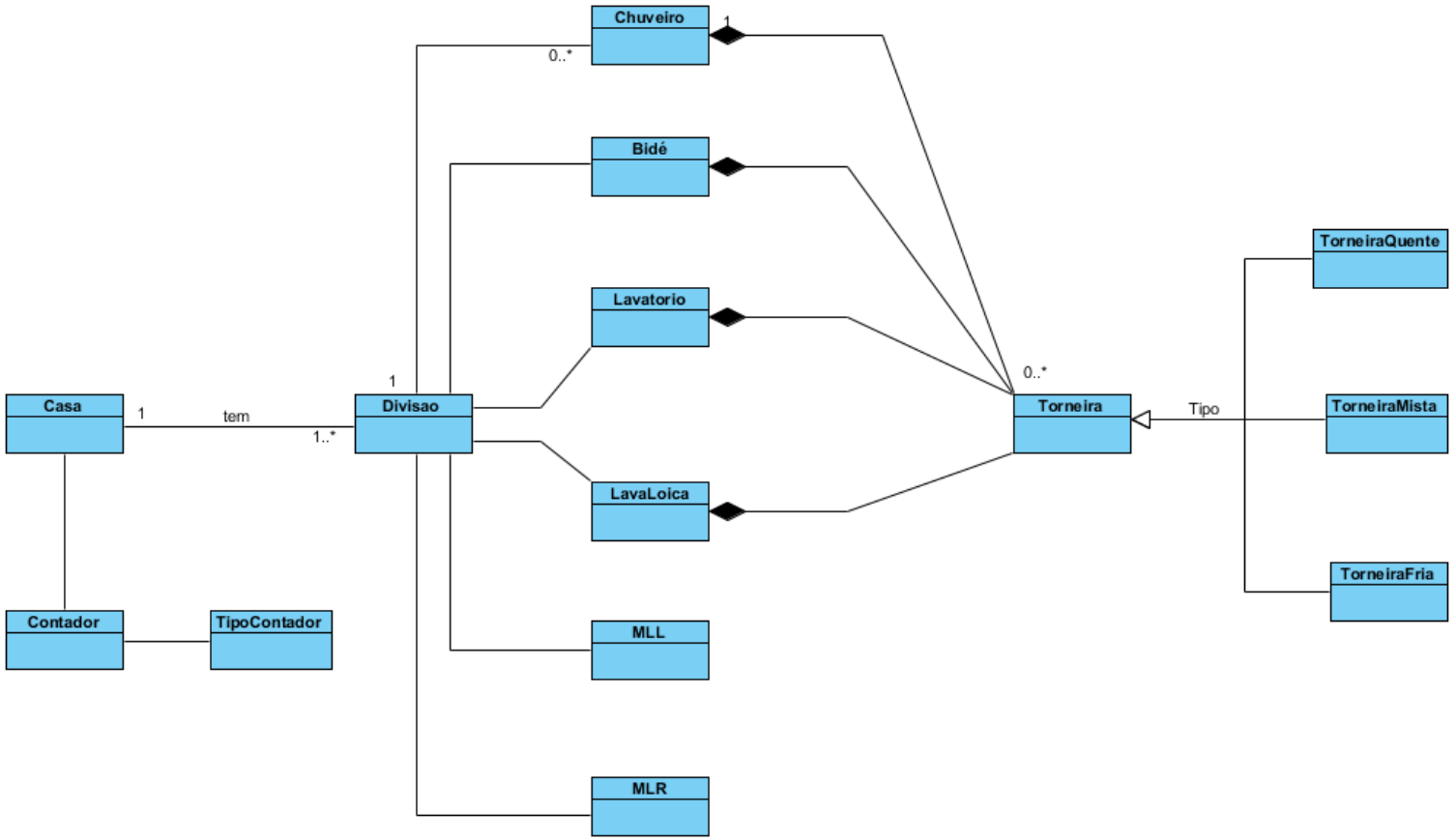
Consumptions estimator and validator

Water and Energy consumptions

	A	B	C	D	E	F
1	Timestamp	Porta	Setor	Leitura	Valor	Duração
2	28/03/2017 03:32:37.3737	maq_roupa	coz	Água(L)	55	1:03:42
3	28/03/2017 03:32:37.3737	maq_roupa	coz	Gás	0	1:03:42
4	28/03/2017 03:32:37.3737	maq_roupa	coz	Eletricidade(KW)	2,5	1:03:42
8	28/03/2017 07:03:48.4848	torneiraBanheira	wc1	Água_Quente(L)	3	00:21,2
9	28/03/2017 07:03:48.4848	torneiraBanheira	wc1	Gás	10	00:21,2
10	28/03/2017 07:03:48.4848	torneiraBanheira	wc1	Eletricidade(KW)	0	00:21,2

Enerwat Nexus

4 Validation model



Nexus

Enerwat

4 Validation rules

- Hábito
- Consumo por dia total /dispositivo
- Consumo de água e energia por abertura
- Duração da abertura

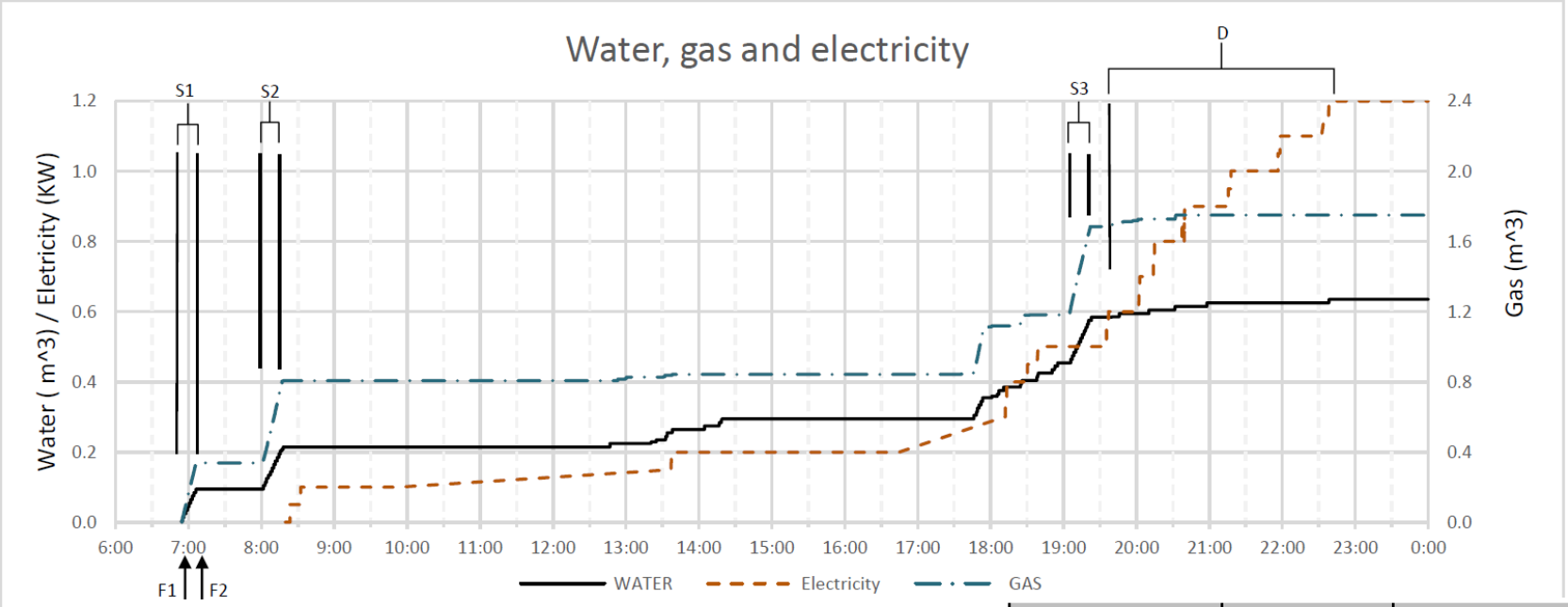
Enerwat Nexus

4 Results

- Torneiras
  - Consumem 10 litros de água por minuto
- Autoclismo
  - Consume 8,5 a 10 litros de água por descarga
- Máquina de lavar roupa
  - Gasta em média 50 litros de água por ciclo de lavagem

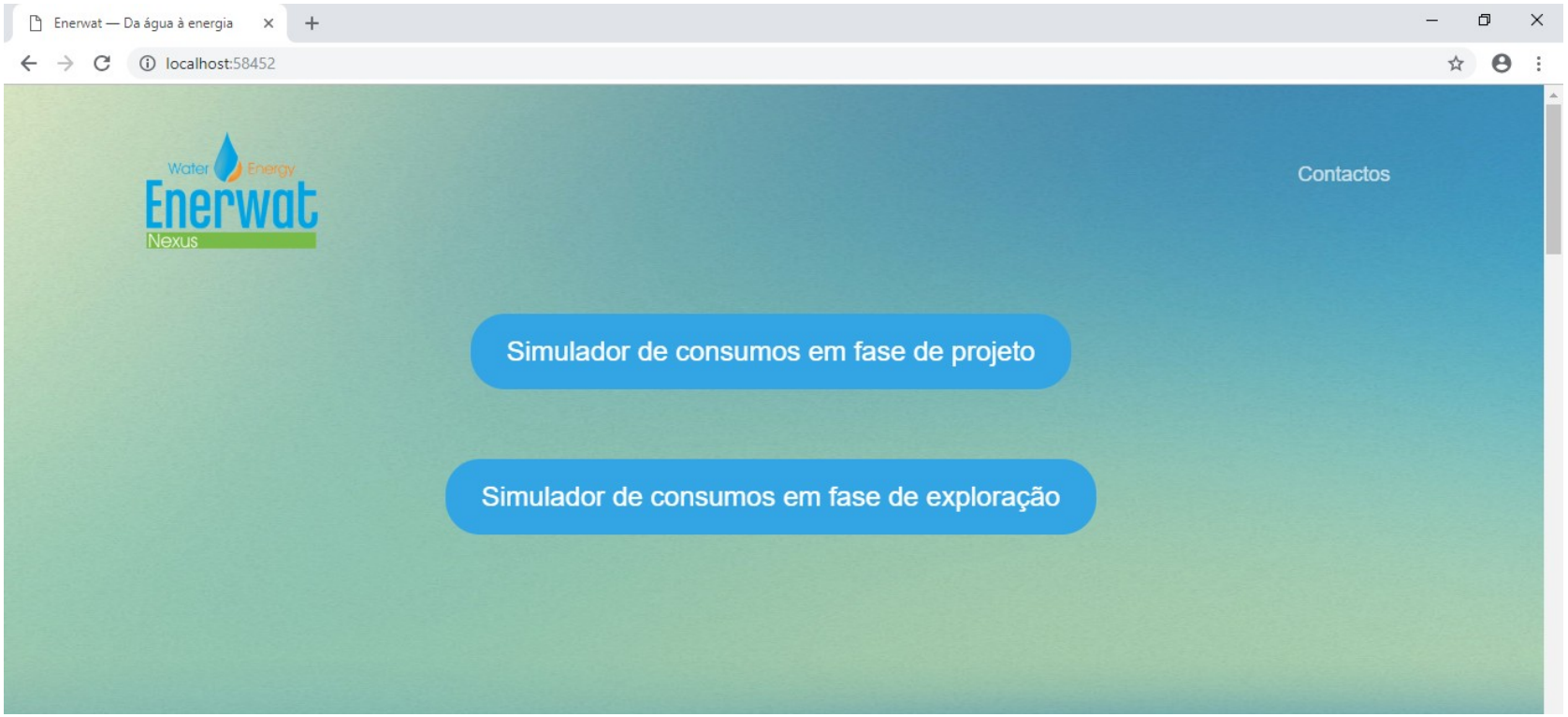
Enerwat Nexus

2 Water gas and electricity reads



		Start	Duration	Water (litres) Read	Gas (litres) Read	Electricity (KW) Read
Shower	S1	06:56:22	00:09:53	72.5	281.0	N.A.*
	S2	08:01:13	00:15:57	115.0	468	N.A.*
	S3	19:04:56	00:16:55	128.0	469	N.A.*
Flushing Cistern	F1	06:55:07	00:01:03	9.0	N.A.*	N.A.*
	F2	07:11:39	00:00:33	4.0	N.A.*	N.A.*
Dishwashing Machine	D	19:36:50	03:01:10	44.5	N.A.*	6.0

3 Web simulator



- Objective
  - *Evaluate dwellings in project and in exploration phases*

Está em fase final de desenvolvimento - ficará em breve on-line.

Simulador consumos em fase de projeto

Página 1/2

Caracterização da habitação

Como se caracteriza o meio em que a habitação se irá inserir?

- Meio Urbano (>5000)
- Meio rural (<5000)

O edifício de habitação será:

- Unifamiliar, isolado
- Unifamiliar, germinado
- Multifamiliar

Refira a tipologia prevista para a habitação

Unifamiliar: V1 V2 V3 V4 V5 V6

Multifamiliar: T1 T2 T3 T4 T5 T6

Qual será a área total prevista da habitação(m²):

A habitação irá possuir:

	Sim	Não	Àrea	Volume	Quantidade
Garagem					
Jardim					
Terraço ou pavimento exterior					
Quintal					
Piscina					
Viaturas					
Anexos(que envolvam água)					
Laboração ou actividade industrial(que envolvam água)					

Equipamentos previstos:

	Sim	Não	Classe de eficiência
Máquina de Lavar Loiça			
Máquina de Lavar Roupa			
Tanque			
Lava Louça			

Continuar

Simulador consumos em fase de projeto

Página 2/2

Caracterização do agregado familiar

Nº total de pessoas:
> 67
< 14

Caracterização dos consumos

Qual a fonte de energia prevista para:

Aquecimento do ambiente: Eletricidade
Arrefecimento do ambiente: Eletricidade
Aquecimento de águas: Eletricidade
Cozinha: Eletricidade

Que equipamentos estão previstos para o aquecimento ambiente:

- Lareira aberta
- Lareira c/ recuperador
- Salamandra
- Salamandra c/ motor elétrico
- Caldeira para o aquecimento central por circulação de água
- Aquecedor elétrico
- Aquecedor a GPL independente
- Painel solar térmico
- Ar condicionado
- Fogão a lenha
- Piso radiante elétrico
- Piso radiante aquecido por água
- Outro

Que tipo de sistema está previsto para o aquecimento de água:

- Esquentador
- Caldeira
- Recuperador de calor
- Cilindro
- Painel Solar
- Termoacumulador (AQS)
- Circulação de AQS
- Circulação com acumulador
- Outro

Abastecimento de água previsto:

	Sim	Não
Rede Pública	○	○
Furo ou poço	○	○

Voltar

Simulação

3

Simulador consumos
em fase de projeto

Nexus

Enerwat

Estimativa dos consumos

	Média mensal	Média de consumidores
Consumo de água esperado	180 m³	45 m³
Consumo de energia esperado	500 kW/h	100 kW/h

Estimativa de custos

Escolha Distrito: Vila Real ▾ Concelho: Alijó ▾

Custo de àgua esperado:	0.28044 €
Custo de energia associados:	100 €
Custo total:	100.28044 €

Proceder à gravação da simulação

Simulador de consumos em fase de exploração

Página 1/3

Caracterização da habitação

Como se caracteriza o meio em que a habitação se irá inserir?

- Meio Urbano (>5000)
- Meio rural (<5000)

O edifício de habitação será:

- Unifamiliar, isolado
- Unifamiliar, germinado
- Multifamiliar

Refira a tipologia prevista para a habitação

Unifamiliar: V1 V2 V3 V4 V5 V6

Multifamiliar: T1 T2 T3 T4 T5 T6

Qual será a área total prevista da habitação(m²):

A habitação irá possuir:

	Sim	Não	Area	Volume	Quantidade
Garagem					
Jardim					
Terraço ou pavimento exterior					
Quintal					
Piscina					
Viaturas					
Anexos(que envolvam água)					
Laboração ou actividade industrial(que envolvam água)					

Equipamentos previstos:

	Sim	Não	Classe de eficiência	Quantidade
Máquina de Lavar Loiça				
Máquina de Lavar Roupa				
Tanque				
Lava Louça				
Torneira Wc				
Torneira cozinha				
Chuveiro				

Em que ano foi construida a habitação?

Continuar

Nexus

Enerwat

Simulador de consumos em fase de exploração

Página 2/3

Caracterização do agregado familiar

Nº total de pessoas:

> 67

< 14

Caracterização dos consumos

Qual a fonte de energia prevista para:

Aquecimento do ambiente: Eletricidade

Arrefecimento do ambiente: Eletricidade

Aquecimento de águas: Eletricidade

Cozinha: Eletricidade

3 Simulador de consumos em fase de exploração

Que equipamentos estão previstos para o aquecimento ambiente:

- ☐ Lareira aberta
- ☐ Lareira c/ recuperador
- ☐ Salamandra
- ☐ Salamandra c/ motor elétrico
- ☐ Caldeira para o aquecimento central por circulação de água
- ☐ Aquecedor elétrico
- ☐ Aquecedor a GPL independente
- ☐ Painel solar térmico
- ☐ Ar condicionado
- ☐ Fogão a lenha
- ☐ Piso radiante elétrico
- ☐ Piso radiante aquecido por água
- ☐ Outro

Que tipo de sistema está previsto para o aquecimento de água:

- ☐ Esquentador
- ☐ Caldeira
- ☐ Recuperador de calor
- ☐ Cilindro
- ☐ Painel Solar
- ☐ Termoacumulador (AQS)
- ☐ Circulação de AQS
- ☐ Circulação com acumulador
- ☐ Outro

Abastecimento de água previsto:

	Sim	Não
Rede Pública	○	○
Furo ou poço	○	○

Voltar

Continuar

Nexus

Enerwat

3 Simulador de consumos em fase de exploração

Caracterização de Hábitos

Tem empregada doméstica? ○ Sim ○ Não

Com que regularidade rega o jardim?
Epoca seca [Todos os dias ▾]
Epoca húmida [Todos os dias ▾]

Com que regularidade rega o quintal?
Epoca seca [Todos os dias ▾]
Epoca húmida [Todos os dias ▾]

Quantas vezes, por mês, lava o terraço ou pavimento exterior? [Todos os dias ▾]

Costuma lavar as suas viaturas? ○ Sim ○ Não

Se sim quantas vezes por mês? ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ Mais que 4

Quanto tempo, em media, demora em cada lavagem ○ 0-15 min ○ 15-30 min ○ 30-45 min ○ 45-60 min ○ Mais que 60 min

Quantas refeições Costuma fazer em casa: [ ]

Quantos duches costuma tomar o seu agregado familiar, por semana? [ ]

Indique a duração média de cada duche (minutos): [ ]

Quantos banhos de imersão costuma tomar o seu agregado familiar por mês? [ ]

Quantas lavagens na máquina de lavar roupa efectua por semana: [ ]

Quanto tempo costumam durar as lavagens (minutos)?: [ ]

Costuma lavar a roupa na máquina com água fria ou quente? ○ Fria ○ Quente ○ Fria e quente

A que temperatura costumar efetuar as lavagens da máquina(ºC): [ ]

Quantas lavagens de roupa executa à mão por semana? [ ]

Costuma lavar a roupa à mão com água fria ou quente? ○ Fria ○ Quente ○ Fria e quente

Qual a duração aproximandamente das lavagens de roupa à mão?(minutos)?:

Enerwat Nexus

3 Simulador de consumos em fase de exploração

Costuma lavar a louça à mão? ○ Sim ○ Não

Quantas lavagens na máquina de lavar louça efetua por semana?
○ 0 ○ 1 a 3 ○ 4 a 6 ○ 7 a 10 ○ Mais que 10

A que temperatura costumar efetuar as lavagens da máquina(ºC):

Quanto tempo costumam durar as lavagens (minutos)?:

Costuma proceder à sua pré-lavagem? ○ Sim ○ Não

Se sim , manual ou na máquina ? ○ Manual ○ Máquina

Quantas lavagens efetua à mão por semana?
○ 0 ○ 1 a 3 ○ 4 a 6 ○ 7 a 10 ○ Mais que 10

Costuma lavar a louça à mão com água fria ou quente? ○ Fria ○ Quente ○ Fria e quente

Qual a duração aproximanda das lavagens de louça à mão (minutos)?:

Voltar

Simulação

Estimativa dos consumos

	Média mensal	Média de consumidores
Consumo de água esperado	160 m³	40 m³
Consumo de energia esperado	500 kW/h	100 kW/h

3 Simulador de consumos em fase de exploração

3 Simulador de consumos em fase de exploração

Medidas de melhoria não estruturais - Comportamentais -

	Sim	Não
Fechar a torneira enquanto ensaboa as mãos	◉	○
Fechar a torneira enquanto se ensaboa no duche	◉	○
Fechar a torneira enquanto escova os dentes	◉	○
Fechar a torneira enquanto faz a barba	◉	○
Fechar a torneira enquanto lava a louça	◉	○
Utilizar as máquinas de lavar louça e roupa com a carga completa	◉	○

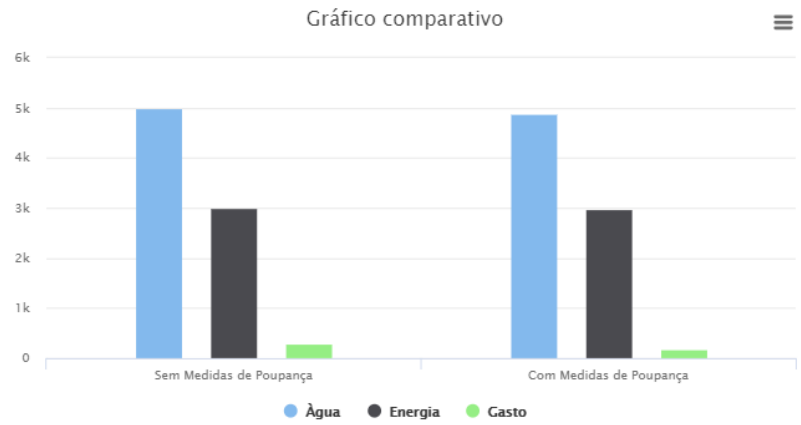
Medidas de melhoria estruturais - Físicas -

	Sim	Não
Eficiencia energética maquina de lavar louça passa a A+++	◉	○
Eficiencia energética maquina de lavar roupa passa a A+++	◉	○
Substituir torneiras wc para A+++	◉	○
Substituir torneiras cozinha para A+++	◉	○
Substituir chuveiro wc para A+++	◉	○
Implementar algum tipo de sistema de aproveitamento de água	◉	○

3 Simulador de consumos em fase de exploração

Poupança em água esperado:	**120** €/mês
Poupança em energia associados esperado:	**12** €/mês
Total:	**132** €/mês

Investimento	**1110** €
Periodo de retorno	**0.70** anos



Enerwat Nexus

4 Conclusion and Future work

- Simulator
  - To be integrated into the project site.
  - After a few missing calibrations, datasets profiles acquired from dwellings will be use as baseline for the simulator (rural and urban).
  - Users will be allow to provide their own data to simulate on project phase (design phase) our already in usage phase (living).
  - Simulator will output a datasheet with cost simulation and optional changes (e.g. type of taps) in order to minimize water and energy consumption, including ROI for that investment.

4 Conclusion and Future work

- Conclusion
  - The WATERS system architecture and implementation solutions was presented.
  - The system has been thought to have low cost, acquire water and related energy with high detail and for long periods.
  - The system is presently installed in 9 dwellings
  - For the case presented dwelling, the costs with hardware and other material were approximately 371€, that was consider low in comparison with other systems.

- Future work
  - Finish the data interpretation and validation system.

Questions

Thanks!

Enerwat Nexus